

---

Innovazione architeturale: La riconfigurazione delle tecnologie di prodotto esistenti e il fallimento di imprese affermate (titolo originale: Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms)

Autore/i: Rebecca M. Henderson e Kim B. Clark

Fonte: *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, n. 1, edizione speciale: Tecnologia, organizzazioni e innovazione (marzo 1990), pagg. 9-30

Pubblicato da: Sage Publications, Inc. per conto della Johnson Graduate School of Management, Cornell University

URL stabile: <https://www.jstor.org/stable/2393549>

JSTOR è un servizio senza scopo di lucro che aiuta studiosi, ricercatori e studenti a scoprire, utilizzare e sviluppare una vasta gamma di contenuti in un archivio digitale affidabile. Utilizziamo tecnologie e strumenti informatici per aumentare la produttività e facilitare nuove forme di borsa di studio. Per ulteriori informazioni su JSTOR, contattare [support@jstor.org](mailto:support@jstor.org).

L'utilizzo dell'archivio JSTOR implica l'accettazione dei Termini e condizioni d'uso, consultabili all'indirizzo <https://about.jstor.org/terms>

*Sage Publications, Inc. e la Johnson Graduate School of Management, Cornell University*  
collaborano con JSTOR per digitalizzare, preservare ed estendere l'accesso ad *Administrative Science Quarterly*

**JSTOR**

Innovazione architettuale:  
La riconfigurazione delle  
tecnologie di prodotto  
esistenti e il fallimento di  
imprese affermate.

**Rebecca M. Henderson**  
Massachusetts Institute of  
Technology

**Kim B. Clark**  
Harvard University

**Il presente documento dimostra che la tradizionale categorizzazione dell'innovazione come incrementale o radicale è incompleta e potenzialmente fuorviante e non tiene conto degli effetti talvolta disastrosi sugli operatori del settore di miglioramenti apparentemente minimi dei prodotti tecnologici. Esaminiamo più da vicino tali innovazioni e, distinguendo tra i componenti di un prodotto e i metodi in cui gli stessi vengono integrati nel sistema che costituisce l'"architettura" del prodotto, li definiamo come innovazioni in grado di modificare l'architettura di un prodotto senza cambiarne i componenti. Dimostriamo che le innovazioni architetturelle rendono obsoleta la conoscenza architetturelle di imprese consolidate e che, poiché la conoscenza architetturelle tende a essere incorporata nella struttura e nelle procedure di elaborazione delle informazioni delle organizzazioni consolidate, tale distruzione è difficile da riconoscere e correggere. L'innovazione architetturelle presenta quindi alle organizzazioni consolidate sfide insidiose che possono avere significative implicazioni dal punto di vista della concorrenza. Illustriamo la forza esplicativa del concetto attraverso uno studio empirico del settore delle apparecchiature di allineamento fotolitografico a semiconduttore, che ha subito una serie di innovazioni architetturelle.**

La distinzione tra perfezionare e migliorare un progetto esistente e introdurre un nuovo concetto che si discosta in modo significativo dalla pratica passata è una delle nozioni centrali nella letteratura esistente sull'innovazione tecnica (Mansfield, 1968; Moch e Morse, 1977; Freeman, 1982 ). L'innovazione incrementale introduce modifiche relativamente minori al prodotto esistente, sfrutta il potenziale del design consolidato e spesso rafforza il dominio di aziende già affermate (Nelson e Winter, 1982; Ettlie, Bridges e O'Keefe, 1984; Dewar e Dutton, 1986; Tushman e Anderson, 1986). Sebbene non provenga da alcuna disciplina completamente nuova, richiede spesso notevoli capacità e ingegno e, con il tempo, può avere conseguenze economiche molto significative (Hollander, 1965). L'innovazione radicale, per contro, si basa su una diversa serie di principi ingegneristici e scientifici e individua sovente mercati e possibili applicazioni completamente nuovi (Dess and Beard, 1984; Ettlie, Bridges e O'Keefe, 1984; Dewar e Dutton, 1986). L'innovazione radicale comporta spesso grandi difficoltà per le aziende affermate (Cooper e Schendel, 1976; Daft, 1982; Rothwell, 1986; Tushman e Anderson, 1986) mentre può favorire l'ingresso di nuove aziende o persino la ridefinizione di un settore.

Le innovazioni radicali e incrementali incidono in maniera significativamente diversa sulla concorrenza poiché richiedono capacità organizzative piuttosto differenti. Le capacità organizzative sono difficili da creare e costose da adattare (Nelson e Winter, 1982; Hannan e Freeman, 1984). Se da un lato l'innovazione incrementale rafforza le capacità delle organizzazioni consolidate, dall'altro l'innovazione radicale le costringe a porsi nuove domande, ad attingere a nuove competenze tecniche e commerciali e ad adottare nuovi approcci di risoluzione dei problemi (Burns e Stalker, 1966; Hage, 1980; Ettlie, Bridges e O'Keefe, 1984; Tushman e Anderson, 1986).

**9 / Administrative Science Quarterly, 35 (1990): 9-30**

© 1990, Cornell University.  
0001-8392 / 90 / 3501-0009 / \$  
1,00.

La presente ricerca è stata finanziata dal dipartimento di ricerca della Harvard Business School. Il supporto dell'istituto è accolto con gratitudine. Vorremmo ringraziare Dataquest e VLSI Research Inc per la gentile autorizzazione a utilizzare i loro dati pubblicati, il personale di Canon, GCA, Nikon, Perkin Elmer e Ultratech e tutte le risorse coinvolte nella tecnologia di allineamento fotolitografico che hanno generosamente messo a disposizione il loro tempo. Vorremmo inoltre ringraziare i redattori di questa rivista e tre revisori anonimi che ci hanno fornito commenti molto utili. Eventuali errori o omissioni sono interamente di nostra responsabilità.

La differenziazione tra innovazione radicale e incrementale ha dato luogo a importanti intuizioni, tuttavia è fondamentalmente incompleta. È sempre più evidente che vi sono numerose innovazioni tecniche che comportano cambiamenti apparentemente modesti alla tecnologia esistente ma che incidono piuttosto pesantemente sulla concorrenza (Clark, 1987). È il caso, ad esempio, di Xerox e delle piccole fotocopiatrici, o di RCA e del mercato americano dei ricevitori radio.

Xerox, pioniera delle fotocopiatrici a carta comune, si è confrontata a metà degli anni '70 con competitor che offrivano fotocopiatrici molto più piccole e più affidabili rispetto al prodotto tradizionale. I nuovi prodotti richiedevano poche nuove conoscenze scientifiche o ingegneristiche, ma benché Xerox avesse inventato le tecnologie di base e vantasse un'enorme esperienza nel settore, l'azienda impiegò quasi otto anni di errori e false partenze per lanciare sul mercato un prodotto competitivo. All'epoca, Xerox perse metà della sua quota di mercato e subì gravi problemi finanziari (Clark, 1987).

A metà degli anni '50, gli ingegneri del centro di ricerca e sviluppo di RCA svilupparono il prototipo di un ricevitore radio portatile e transistorizzato. Il nuovo prodotto sfruttava la tecnologia in cui l'azienda eccelleva (transistor, circuiti radio, altoparlanti, dispositivi di sintonizzazione), ma RCA non aveva motivo di perseguire una tecnologia apparentemente così inferiore. Al contrario, Sony, una società relativamente nuova di modeste dimensioni, utilizzò la piccola radio transistorizzata per penetrare il mercato statunitense. Anche quando il successo di tale azienda era ormai evidente, RCA rimase un passo indietro sul mercato poiché Sony introdusse modelli successivi dotati di una migliore qualità del suono e copertura FM. Agli ingegneri di ricerca e sviluppo non sfuggì l'ironia della situazione: per molti anni Sony ha prodotto le proprie radio con la tecnologia concessa in licenza da RCA, eppure quest'ultima ha sempre avuto grandi difficoltà ad eguagliare il prodotto della concorrente sul mercato (Clark, 1987).

I modelli esistenti basati sulla semplice distinzione tra innovazione radicale e incrementale forniscono una scarsa analisi dei motivi per cui innovazioni apparentemente minori o semplici dovrebbero avere conseguenze di una tale portata. Nel presente documento, sviluppiamo e applichiamo un modello nato dalla ricerca nel settore automotive, delle macchine utensili e della ceramica che contribuisce a spiegare come innovazioni minori possono avere grandi conseguenze sulla concorrenza.

## QUADRO CONCETTUALE

### Conoscenza dei componenti e dell'architettura

Nel presente documento, ci concentriamo sul problema dello sviluppo del prodotto, prendendo come unità di analisi un prodotto fabbricato venduto a un utente finale e progettato, ingegnerizzato e fabbricato da una sola società di sviluppo. Definiamo "architetturali" quelle innovazioni che cambiano il modo in cui i componenti di un prodotto sono collegati tra loro, lasciando al contempo invariati i concetti di progettazione di base (e quindi le conoscenze di base su cui si fondano i componenti). <sup>1</sup> È il tipo di innovazione che hanno dovuto affrontare Xerox e RCA. Annulla l'utilità delle conoscenze architetturali di un'azienda ma preserva quella delle sue conoscenze in materia dei componenti del prodotto.

10 / ASQ, marzo 1990

## Innovazione architettuale

Tale distinzione tra il prodotto nel complesso - il sistema - e il prodotto in ogni sua parte - i componenti - vanta una lunga storia nella letteratura della progettazione (Marples, 1961; Alexander, 1964). Ad esempio, i principali componenti di un ventilatore da sala includono la lama, il motore che la aziona, il coprilama, il sistema di controllo e l'alloggiamento meccanico. L'architettura complessiva del prodotto stabilisce il modo in cui i diversi componenti lavoreranno insieme. Insieme, l'architettura di un ventilatore e i suoi componenti creano un sistema per far circolare l'aria all'interno di una stanza. Un componente viene qui definito come una porzione fisicamente distinta del prodotto che incorpora un concetto progettuale fondamentale (Clark, 1985) e svolge una funzione ben definita. Nel caso del ventilatore, un particolare motore è un componente della progettazione che fornisce l'energia per azionare l'apparecchio. Esistono diversi concetti di progettazione che è possibile utilizzare per fornire energia. La scelta di uno di essi – ad esempio, la decisione di utilizzare un motore elettrico – stabilisce un concetto chiave della progettazione. Il componente effettivo, il motore elettrico, è quindi un'implementazione fisica di questo concetto di progettazione.

La distinzione tra prodotto inteso come sistema e prodotto inteso come insieme di componenti sottolinea l'idea che lo sviluppo di un prodotto di successo richiede due tipi di conoscenza. Innanzitutto, richiede la conoscenza dei componenti o la conoscenza di ciascuno dei concetti di progettazione di base e del modo in cui sono implementati in un particolare componente. In secondo luogo, richiede conoscenze architetturelle o relative ai modi in cui i componenti sono integrati e collegati tra loro in un insieme coerente. La differenziazione tra conoscenza architetturelle e dei componenti, o tra i componenti stessi e i loro collegamenti, consente di comprendere come le innovazioni differiscano l'una dall'altra.

### Tipi di cambiamenti tecnologici

L'idea che vi siano diversi tipi di innovazione, con diversi effetti sulla concorrenza, è un importante tema della letteratura sull'innovazione tecnologica sin da Schumpeter (1942). Seguendo l'enfasi posta da Schumpeter sulla distruzione creativa, la letteratura ha caratterizzato diversi tipi di innovazione in termini di impatto sulle capacità consolidate dell'azienda. Tale idea è rappresentata nella Figura 1, che classifica le innovazioni secondo due dimensioni. La dimensione orizzontale riguarda l'impatto di un'innovazione sui componenti, mentre quella verticale descrive il suo impatto sui collegamenti tra i componenti.<sup>2</sup> Ovviamente è possibile caratterizzare i diversi tipi di innovazione anche in altri modi. Ma dato il focus del presente documento sull'innovazione e sullo sviluppo di nuovi prodotti, il quadro delineato nella Figura 1 è utile perché si concentra sull'impatto di un'innovazione sull'utilità delle esistenti conoscenze architetturelle e dei componenti dell'azienda.

Viste in questo modo, l'innovazione radicale e incrementale rappresentano i due estremi di entrambe le dimensioni. L'innovazione radicale stabilisce un nuovo design dominante e, quindi, una nuova serie di concetti di progettazione di base incorporati in componenti collegati tra loro in una nuova architettura. L'innovazione incrementale perfeziona e amplia una progettazione già consolidata. Il miglioramento si verifica a livello dei singoli componenti, ma i concetti di progettazione sottostanti e i loro collegamenti rimangono invariati.

2

Uno dei revisori anonimi di ASQ ci ha dato il prezioso consiglio di utilizzare questa matrice.

Figura 1. Quadro di definizione dell'innovazione.

|                                                     |           | Rinforzato                 | Rovesciato           |
|-----------------------------------------------------|-----------|----------------------------|----------------------|
| Collegamenti tra concetti fondamentali e componenti | Invariati | Innovazione incrementale   | Innovazione modulare |
|                                                     | Variati   | Innovazione Architetturale | Innovazione Radicale |

La Figura 1 illustra altri due tipi di innovazione: l'innovazione che cambia solo i concetti progettuali fondamentali di una tecnologia e l'innovazione che cambia solo le relazioni tra loro. Il primo tipo è l'innovazione modulare, come nel caso della sostituzione dei telefoni analogici con i telefoni digitali. Nella misura in cui è possibile semplicemente sostituire un dispositivo analogico con uno digitale, si tratta di un'innovazione in grado di cambiare un concetto di progettazione di base senza modificare l'architettura del prodotto. Ci preoccupa invece l'ultimo tipo di innovazione mostrato nella matrice: l'innovazione che cambia l'architettura di un prodotto ma lascia invariati i componenti e i concetti di progettazione fondamentali in essi integrati.

L'essenza di un'Innovazione architettureale è la riconfigurazione di un sistema consolidato al fine di collegare in un nuovo modo i componenti esistenti. Ciò non significa che i componenti non siano interessati dall'Innovazione architettureale. L'Innovazione architettureale viene spesso innescata da una modifica di un componente – in termini di dimensione o di qualche altro parametro aggiuntivo della sua progettazione - che crea nuove interazioni e nuovi collegamenti con altri componenti del prodotto stabilito. Il punto importante è che il concetto di progettazione alla base di ciascun componente e le conoscenze scientifiche e ingegneristiche associate rimangono invariati.

Per illustrare l'applicazione di questo framework utilizziamo l'esempio del ventilatore. Se la tecnologia consolidata è quella dei grandi ventilatori alimentati elettricamente, installati a soffitto, con il motore non visibile e isolato per attutire il rumore, eventuali miglioramenti nella progettazione della pala o nella potenza del motore sarebbero innovazioni incrementali. L'eventuale passaggio all'aria condizionata centralizzata sarebbe invece un'innovazione radicale. Nuovi componenti associati a compressori, refrigeranti e relativi controlli richiederebbero nuove discipline tecniche e interrelazioni aggiuntive. Per i produttori di ventilatori a soffitto di grandi dimensioni, tuttavia, l'introduzione di un ventilatore portatile costituirebbe un'Innovazione architettureale. Se da un lato i componenti primari resterebbero sostanzialmente invariati (ad esempio, lama, motore, sistema di controllo), dall'altro, l'architettura del prodotto ne risulterebbe piuttosto cambiata. Ci sarebbero cambiamenti significativi nelle interazioni tra i componenti.

12 / ASQ, marzo 1990

focalizzerebbero l'attenzione su nuovi tipi di interazione tra le dimensioni del motore, le dimensioni della pala e la quantità di aria che il ventilatore potrebbe far circolare, mentre la riduzione delle dimensioni dell'apparato comporterebbe probabilmente nuove interazioni tra le prestazioni della lama e il peso dell'alloggiamento.

Le innovazioni radicali, incrementali e architetturali si distinguono in base al grado di difficoltà. L'intenzione del presente scritto non è quella di difendere i confini di una particolare definizione, soprattutto poiché esistono molti altri parametri in base ai quali può essere utile definire l'innovazione radicale e incrementale. L'uso del termine 'Innovazione architetturale' è inteso ad attirare l'attenzione su innovazioni che utilizzano molti concetti di progettazione fondamentali esistenti in una nuova architettura e che pertanto hanno un impatto più significativo sulle relazioni tra i componenti che sulle tecnologie dei componenti stessi. La matrice in Figura 1 indica che una data innovazione può essere meno radicale o più architetturale, non che il mondo può essere ordinatamente suddiviso in quattro quadranti.

Tali distinzioni sono importanti poiché danno un'idea del perché le aziende affermate incontrano spesso un elevato grado di difficoltà nell'adattarsi all'Innovazione architetturale. L'innovazione incrementale tende a rafforzare le posizioni competitive delle imprese affermate, poiché incrementa le loro principali competenze (Abernathy e Clark, 1985) o ne "migliora le competenze" (Tushman e Anderson, 1986). In base ai termini del quadro qui sviluppato, rafforza le esistenti conoscenze architetturali e dei componenti di un'organizzazione. Per contro, l'innovazione radicale pone evidenti sfide per le aziende affermate, dal momento che annulla l'utilità delle loro capacità esistenti. In base alla nostra definizione, distrugge l'utilità sia della conoscenza architetturale che di quella dei componenti (Cooper e Schendel, 1976; Daft, 1982; Tushman e Anderson, 1986).

L'innovazione architetturale presenta alle aziende già esistenti una sfida più subdola. Molte delle conoscenze possedute dall'azienda sono utili e devono essere applicate nel nuovo prodotto, ma in parte non solo non sono utili, ma possono effettivamente ostacolare l'impresa. Distinguere cosa è utile da cosa non lo è, e acquisire e applicare nuove conoscenze quando necessario, può essere piuttosto difficile per un'azienda affermata per via del modo in cui la conoscenza, in particolare la conoscenza dell'architettura, è organizzata e gestita.

### **L'evoluzione della conoscenza dei componenti e dell'architettura**

Due concetti sono importanti per comprendere come i componenti e le conoscenze architetturali siano gestiti all'interno di un'organizzazione. Il primo è quello di un design dominante. Il lavoro di Abernathy e Utterback (1978), Rosenberg (1982), Clark (1985) e Sahal (1986) e le prove fornite da studi su diversi settori mostrano che le tecnologie di prodotto non sono già completamente sviluppate all'inizio della loro vita commerciale (Mansfield, 1977). L'evoluzione tecnica è solitamente caratterizzata da periodi di grande sperimentazione seguiti dall'accettazione di un design dominante. Il secondo concetto riguarda il fatto che le organizzazioni sviluppano conoscenze e capacità in relazione ai compiti ricorrenti da esse svolti (Cyert e March, 1963; Nelson e Winter, 1982).

**13 / ASQ, marzo 1990**

<sup>3</sup>Per semplicità, nel presente documento presumiamo che le organizzazioni agiscano come entità limitatamente razionali, secondo la tradizione di Arrow (1974) e Nelson e Winter (1982).

Pertanto, non è possibile comprendere lo sviluppo delle capacità innovative di un'organizzazione o delle sue conoscenze senza comprendere il modo in cui le stesse vengono modellate dall'esperienza dell'organizzazione con una tecnologia in evoluzione.

L'emergere di una nuova tecnologia rappresenta di solito un periodo di notevole confusione. È difficile accordarsi su quali dovrebbero essere i principali sottosistemi del prodotto o su come dovrebbero essere assemblati. Si sperimenta molto (Burns e Stalker, 1966; Clark, 1985). Ad esempio, nei primi tempi dell'industria automobilistica, le automobili venivano costruite con motori a benzina, elettrici o a vapore, con ruote o barre sterzanti e con scocche in legno o metallo (Abernathy, 1978).

Tali fasi di sperimentazione sono terminati con l'emergere di un disegno dominante (Abernathy e Utterback, 1978; Sahal, 1986). Un design dominante è caratterizzato sia da un insieme di concetti di progettazione fondamentali che corrispondono alle principali funzioni svolte dal prodotto (Marples, 1961; Alexander, 1964; Clark, 1985) e che sono incorporati nei componenti, sia da un'architettura del prodotto che definisce le modalità di integrazione di questi componenti (Clark, 1985; Sahal, 1986). Equivale alla generale accettazione di una particolare architettura di prodotto ed è caratteristica dell'evoluzione tecnica in una vasta gamma di settori (Clark, 1985).

Un design dominante emerge spesso in risposta all'opportunità di ottenere economie di scala o di sfruttare le esternalità (David, 1985; Arthur, 1988). Ad esempio, il design dominante dell'automobile comprendeva non solo il fatto che utilizzava un motore a benzina per fornire forza motrice, ma anche che era collegato alle ruote attraverso un cambio e un treno di trasmissione ed era montato su un telaio anziché sugli assi. Un design dominante incorpora un ventaglio di scelte di base relative al design che non vengono rivisitate per ogni design successivo. Una volta accettato il design automobilistico dominante, gli ingegneri non rivalutarono la decisione di utilizzare un motore a benzina ogni volta che svilupparono un nuovo design. Stabilito il design dominante, l'insieme iniziale di componenti viene perfezionato ed elaborato e il progresso avviene sotto forma di migliorie ai componenti nell'ambito di un'architettura già stabilita.

Questo processo evolutivo ha profonde implicazioni per i tipi di conoscenza richiesti da un'organizzazione che sviluppa un nuovo prodotto, poiché la conoscenza di un'organizzazione e le sue capacità di elaborazione delle informazioni vengono modellate dalla natura delle attività e dall'ambiente competitivo in cui opera (Lawrence e Lorsch, 1967; Galbraith, 1973)<sup>3</sup>

Nelle prime fasi del progresso di una determinata tecnologia, prima dell'emergere di un design dominante, le organizzazioni che competono per la progettazione di prodotti di successo sperimentano molte tecnologie diverse. Poiché il successo sul mercato si basa sulla sintesi di tecnologie sconosciute in nuovi design creativi, le organizzazioni devono sviluppare attivamente sia la conoscenza dei componenti alternativi sia la conoscenza di come questi componenti possano essere integrati. Con l'emergere di un design dominante, che segnala l'accettazione generale di una singola architettura, le aziende cessano di investire nell'apprendimento di configurazioni alternative dell'insieme di componenti prestabilito.

Per un'azienda la conoscenza di nuovi componenti diventa più preziosa di una nuova conoscenza architettuale, poiché la concorrenza tra i vari design ruota attorno al perfezionamento di particolari componenti. Le organizzazioni di successo preferiscono quindi imparare il più possibile del design dominante piuttosto che un po' di tanti design diversi. Quando le auto a benzina divennero la tecnologia preferita, le pressioni della concorrenza sul settore incoraggiarono fortemente le organizzazioni a saperne di più su quei motori. Perseguire perfezionamenti nelle auto a vapore o elettriche diventò molto meno interessante. Il focus del problem solving attivo diventa l'elaborazione e il perfezionamento della conoscenza sui componenti esistenti all'interno di un quadro di conoscenza architettuale stabile (Dosi, 1982; Clark, 1985).

Dal momento che in un settore caratterizzato da un design dominante la conoscenza dell'architettura è stabile, questa tende a incorporarsi nelle pratiche e nelle procedure dell'organizzazione. Numerosi autori hanno sottolineato l'importanza di vari dispositivi istituzionali, come quadri e routine, nel portare a termine compiti ricorrenti in un'organizzazione (Galbraith, 1973; Nelson e Winter, 1982; Daft e Weick, 1984). Il presente documento si focalizza, tuttavia, sul ruolo dei canali di comunicazione, dei filtri informativi e delle strategie di risoluzione dei problemi nella gestione della conoscenza dell'architettura.

**Canali, filtri e strategie.** I canali di comunicazione di un'organizzazione, sia quelli impliciti nella sua organizzazione formale (A riferisce a B) sia quelli informali ("chiamo sempre Fred perché conosce X"), si sviluppano attorno a quelle interazioni interne all'organizzazione che sono fondamentali per la sua attività (Galbraith, 1973; Arrow, 1974). Tali interazioni sono fondamentali anche per una progettazione efficace. Sono le relazioni attorno alle quali l'organizzazione sviluppa la conoscenza architettuale. Pertanto, i canali di comunicazione di un'organizzazione arriveranno a incorporare la sua conoscenza architettuale dei legami tra i componenti che sono fondamentali per una progettazione efficace. Ad esempio, quando emergerà un design dominante per i ventilatori, un'organizzazione del settore efficace si organizzerà attorno alla sua concezione dei componenti primari del prodotto, poiché questi sono i principali aspetti secondari del problema di progettazione dell'organizzazione (Mintzberg, 1979; von Hippel, 1990). L'organizzazione potrà creare un gruppo di pale rotanti, un gruppo motore e così via. I canali di comunicazione creati tra questi gruppi rifletteranno la conoscenza dell'organizzazione in merito alle interazioni fondamentali tra di essi. Il fatto che coloro che lavorano sul motore e sulla pala del ventilatore riferiscano allo stesso supervisore e si incontrino settimanalmente è l'incarnazione delle conoscenze architetturelle dell'organizzazione in merito alla relazione tra il motore e la pala.

Anche i filtri informativi di un'organizzazione incarnano le sue conoscenze architetturelle. Un'organizzazione dispone costantemente di un elevato volume di informazioni. Poiché l'attività che deve portare a termine si stabilizza e diventa sempre più definita, l'organizzazione sviluppa filtri che le consentono di identificare immediatamente ciò che è più importante nel suo flusso informativo (Arrow, 1974; Daft e Weick, 1984). L'emergere di un design dominante e la sua graduale elaborazione modellano i filtri dell'organizzazione in modo tale da incorporare parti della sua conoscenza delle relazioni fondamentali tra i componenti della tecnologia.

15 / ASQ, marzo 1990



Ad esempio, è probabile che le relazioni tra i progettisti di motori e controller per un ventilatore cambino nel tempo poiché sono in grado di esprimere la natura dell'interazione cruciale tra il motore e il controller in modo sempre più preciso, che consente loro di ignorare informazioni irrilevanti. È possibile che i progettisti dei controller scoprano di dover sapere molto sulla coppia e sulla potenza del motore, ma quasi nulla sui materiali con cui è realizzato. Creeranno filtri di informazioni che riflettano tale conoscenza.

Man mano che un prodotto si evolve, i filtri informativi e i canali di comunicazione si sviluppano e aiutano gli ingegneri a lavorare in modo efficiente, tuttavia l'evoluzione del prodotto implica anche che gli ingegneri affrontano problemi ricorrenti. Con il passare del tempo, gli ingegneri acquisiscono un archivio di conoscenze sulle soluzioni a tipi specifici di problematiche sorte in precedenti progetti. Di fronte a un tale problema, l'ingegnere non riesamina tutte le possibili alternative ma, piuttosto, si concentra prima su quelle che ha trovato utili per risolvere i problemi precedenti. In effetti, le strategie di problem-solving di un'organizzazione sono una sintesi di ciò che ha appreso sui modi più efficaci di risolvere i problemi nell'immediato (March e Simon, 1958; Lyles e Mitroff, 1980; Nelson e Winter, 1982). I progettisti possono utilizzare strategie di questo tipo per risolvere i problemi all'interno dei componenti, ma le strategie di problem-solving riflettono anche la conoscenza dell'architettura, poiché è probabile che esprimano parte delle conoscenze di un'organizzazione inerenti ai collegamenti dei componenti che sono cruciali per la soluzione dei problemi di routine. Un'organizzazione che progetta ventilatori può col tempo apprendere che il modo più efficace di progettare un ventilatore più silenzioso è quello di concentrarsi sulle interazioni tra il motore e l'alloggiamento.

Le strategie utilizzate dai progettisti, i loro canali di comunicazione e i loro filtri di informazioni aiutano l'organizzazione a far fronte a procedure complesse. Sono efficienti proprio perché non devono essere attivamente create ogni volta che se ne presenta la necessità. Inoltre, man mano che diventano familiari ed efficaci, applicarle diventa naturale. Come andare in bicicletta, adottare una strategia, lavorare in un canale o utilizzare un filtro non richiede analisi dettagliate ed un'esecuzione consapevole e deliberata. Pertanto, il funzionamento di canali, filtri e strategie può diventare implicito nell'organizzazione.

Poiché la conoscenza dell'architettura è stabile, una volta accettato un progetto dominante può essere codificato in queste forme e quindi diventare implicito. Le organizzazioni attivamente impegnate nell'innovazione incrementale, che si verifica nel contesto di conoscenze architetture stabili, sono quindi in grado di gestire implicitamente gran parte delle loro conoscenze architetture incorporandole nei propri canali di comunicazione, filtri informativi e strategie di problem-solving. La conoscenza dei componenti, al contrario, ha maggiori probabilità di essere gestita in modo esplicito perché è una fonte costante di innovazione incrementale.

### **Problemi creati dall'Innovazione architetture**

Le differenze nel modo in cui le conoscenze architetture e dei componenti sono gestite all'interno di un'organizzazione esperta danno un'idea del perché l'Innovazione architetture crei spesso problemi alle aziende affermate. Tali problemi hanno origine da due fonti. In primo luogo, le organizzazioni affermate richiedono quantità di tempo (e risorse) significative per identificare una particolare innovazione come architetture, poiché quest'ultima inizialmente può spesso rientrare all'interno di vecchi framework.

L'innovazione radicale tende a essere, ovviamente, radicale: la necessità di nuove modalità di apprendimento e nuove competenze diventa subito evidente. Tuttavia, le informazioni che permetterebbero all'organizzazione di individuare un'innovazione di tipo architettuale possono essere escluse dai filtri di informazione e dai canali di comunicazione che incorporano le vecchie conoscenze architetture. Poiché l'innovazione radicale modifica i concetti di progettazione di base del prodotto, è subito evidente che la conoscenza di come i vecchi componenti interagiscono tra loro è obsoleta. L'introduzione di nuovi collegamenti, tuttavia, è molto più difficile da individuare. Poiché i concetti fondamentali del design rimangono invariati, l'organizzazione potrebbe erroneamente credere di comprendere la nuova tecnologia. Nel caso dell'azienda dei ventilatori, i progettisti dei motori e delle pale continueranno a confrontarsi. Il fatto che potrebbero parlare di cose sbagliate potrebbe emergere solo dopo il verificarsi di significativi malfunzionamenti o problemi imprevisti con il progetto.

Lo sviluppo del settore dei velivoli a reazione è un esempio dell'impatto di un'inaspettata innovazione architettuale. Inizialmente, il motore a reazione sembrava avere importanti ma semplici implicazioni sulla tecnologia della cellula. Le aziende del settore già esistenti intuirono che avrebbero dovuto acquisire una maggiore comprensione del motore a reazione, ma non furono in grado di capire fino a che punto la sua introduzione avrebbe cambiato le interazioni tra il motore stesso e il resto dell'aereo in modo complesso e quasi impercettibile (Miller e Sawyers, 1968; Gardiner, 1986). Tale fallimento è stato uno dei fattori che hanno portato all'ascesa di Boeing alla leadership del settore.

È un effetto analogo alla tendenza degli individui a continuare a fare affidamento su convinzioni che una razionale valutazione di nuove informazioni dovrebbe invece portarli a scartare (Kahneman, Slovic e Tversky, 1982). I ricercatori hanno ampiamente commentato le modalità in cui le organizzazioni minacciate possono continuare a fare affidamento sui loro vecchi schemi – o, in base alla nostra definizione, sulla loro vecchia conoscenza dell'architettura – e quindi fraintendere la natura stessa di una minaccia. Raccolgono le cattive notizie o le nuove informazioni inaspettate nei modelli con cui hanno familiarità (Lyles e Mitroff, 1980; Dutton e Jackson, 1987; Jackson e Dutton, 1988).

Una volta che un'organizzazione ha riconosciuto la natura di un'innovazione architettuale, è chiamata ad affrontare una seconda fonte di problemi: la necessità di costruire e applicare efficacemente nuove conoscenze architetture. Il semplice riconoscimento del carattere architettuale di una nuova tecnologia non fornisce a un'organizzazione esistente le conoscenze architetture di cui ha bisogno. Deve prima passare a una nuova modalità di apprendimento e quindi investire tempo e risorse nell'apprendimento della nuova architettura (Louis e Sutton, 1989). Nel tentare di farlo incontra diversi ostacoli, sia per le difficoltà che tutte le organizzazioni affrontano nel passare da una modalità di apprendimento a un'altra, sia per la necessità di costruire nuove conoscenze architetture in un contesto in cui alcune delle vecchie potrebbero essere pertinenti.

Un'organizzazione affermata che intende costruire nuove conoscenze architetture deve cambiare il proprio orientamento dal perfezionamento di un'architettura stabile a una ricerca attiva di nuove soluzioni in un contesto in costante mutamento.

Finché il design dominante rimane stabile, un'organizzazione può frazionare e specializzare le proprie conoscenze e fare affidamento su procedure operative standard di progettazione e sviluppo prodotti. L'innovazione architettuale, per contro, premia l'esplorazione di nuove forme di progettazione e l'assimilazione di nuove conoscenze. Molte organizzazioni incontrano difficoltà nel tentare di porre in atto questo tipo di transizione (Argyris e Schon, 1978; Weick, 1979; Hedberg, 1981; Louis e Sutton, 1989). Le società entranti, meno legate ai vecchi metodi di comprensione dell'ambiente e organizzazione delle proprie conoscenze, spesso trovano più facile creare quella flessibilità organizzativa necessaria per abbandonare le vecchie conoscenze architetture e costruirne di nuove.

Quando un'organizzazione è riuscita a riorientarsi, la costruzione di nuove conoscenze architetture richiede ancora tempo e risorse. Tale apprendimento può essere piuttosto tortuoso e complesso. I nuovi operatori del settore devono inoltre sviluppare le conoscenze architetture necessarie per sfruttare un'innovazione di questo tipo, ma poiché non dispongono di risorse esistenti, possono ottimizzare la propria organizzazione e le strutture di elaborazione delle informazioni per sfruttare il potenziale di un nuovo progetto. Le aziende già esistenti devono affrontare un fastidioso problema. Poiché la loro conoscenza architetture è incorporata in canali, filtri e strategie, i processi di scoperta e di creazione di nuove informazioni (e il rooting di quelle obsolete) di solito richiede tempo. L'organizzazione può essere tentata di modificare i canali, i filtri e le strategie già esistenti piuttosto che sostenere gli elevati costi fissi e i consistenti cambiamenti organizzativi necessari per costruirne di nuovi da zero (Arrow, 1974). Tuttavia, individuare con precisione quali filtri, canali e strategie di problem-solving debbano essere modificati può essere difficile, e il tentativo di costruire un nuovo prodotto con strumenti organizzativi obsoleti (sebbene modificati) può porre significativi problemi.

L'introduzione dell'acciaio ad alta resistenza a bassa lega (HSLA) nelle carrozzerie delle automobili negli anni '70 è esemplificativa dei problemi creati da un'innovazione architetture. Grazie al nuovo materiale i pannelli della scocca potevano essere più sottili e leggeri, ma emerse una serie completamente nuova di interazioni che non erano contenute nei canali e nelle strategie esistenti. Un gruppo di ingegneri di una casa automobilistica, utilizzando metodi tradizionali, progettò cofani in HSLA per il vano motore. I cofani, tuttavia, risuonavano e oscillavano se soggetti a vibrazioni del motore durante i test. Ulteriori indagini dimostrarono che i metodi tradizionali per la progettazione dei cofani funzionavano perfettamente con i materiali tradizionali, anche se nessuno sapeva bene il perché, mentre l'innovativo materiale aveva creato nuove interazioni e quindi richiesto agli ingegneri di acquisire nuove conoscenze al riguardo.

L'innovazione architetture può quindi avere implicazioni molto significative sulla concorrenza. Le organizzazioni esistenti possono effettuare notevoli investimenti nell'innovazione, interpretandola come un'estensione incrementale della tecnologia esistente o sottovalutandone l'impatto sulla conoscenza architetture integrata. Ma le società entranti nel settore possono sfruttare il suo potenziale in modo molto più efficace, poiché non sono ostacolate da un retaggio di conoscenze architetture integrate e parzialmente irrilevanti.

Esploriamo la validità della nostra struttura attraverso un breve riassunto della storia competitiva e tecnica del settore delle apparecchiature di allineamento fotolitografico a semiconduttore. Gli allineatori fotolitografici sono sofisticati strumenti utilizzati nella fabbricazione di circuiti integrati. Le loro prestazioni sono notevolmente migliorate negli ultimi venticinque anni e, sebbene le tecnologie di base siano cambiate solo marginalmente da quando la tecnica è stata inventata, il settore è stato interessato da grandi turbolenze. I cambiamenti a livello di leadership del mercato sono stati frequenti, nel corso della storia del settore nuove aziende hanno fatto il loro ingresso mentre quelle storiche hanno spesso subito forti perdite della propria quota di mercato in seguito all'introduzione di apparecchiature dotate di un'innovazione apparentemente minore. Riteniamo che tali eventi siano dovuti all'arrivo dell'innovazione architeturale nel settore; per illustrare nel dettaglio questa convinzione, analizziamo tre episodi, in particolare l'introduzione dell'allineamento di prossimità da parte di Canon e la risposta di Kasper.

## **INNOVAZIONE NEGLI STRUMENTI DI ALLINEAMENTO FOTOLITOGRAFICO**

### **Data**

I dati sono stati raccolti nel corso di uno studio lungo due anni sul campo dell'industria delle apparecchiature di allineamento fotolitografico. Lo studio era inizialmente inteso a indagare la validità del concetto di innovazione architeturale, un concetto originariamente sviluppato da uno degli autori nel corso della sua esperienza nell'industria automobilistica e della ceramica (Clark, 1987).

Il nucleo è una serie di dati composto da costi di ricerca e sviluppo e ricavi di vendita per prodotto per ogni progetto di sviluppo prodotto condotto tra il 1962, quando ebbe inizio il lavoro sul primo prodotto commerciale, e il 1986. Questi dati sono integrati da una dettagliata storia gestionale e tecnica per ciascun progetto. I dati sono stati raccolti attraverso ricerche in fonti primarie e secondarie. Le fonti secondarie, tra cui riviste di settore, riviste scientifiche e rapporti di consulenza, sono state utilizzate per identificare le società che erano state attive nel settore e i prodotti che avevano introdotto, e per creare un quadro preliminare della storia tecnica del settore.

Sono stati quindi raccolti dati su ciascun progetto di sviluppo prodotto contattando direttamente almeno uno dei membri del team di sviluppo prodotto e richiedendo loro un colloquio. Le interviste sono state condotte per un periodo di quattordici mesi, da marzo 1987 a maggio 1988. Nel corso della ricerca, sono state intervistate oltre un centinaio di persone. Per quanto possibile, tra gli intervistati sono stati inclusi l'ingegnere di progettazione senior di ciascun progetto e un direttore marketing senior di ciascuna azienda. Sono stati inoltre intervistati altri osservatori e partecipanti del settore, tra cui amministratori delegati, scienziati universitari, ingegneri specializzati nella progettazione e responsabili dei servizi. I dati estratti dalle interviste sono stati integrati ogniqualvolta possibile mediante l'uso di registri interni dell'azienda. La maggior parte delle interviste sono state semistrutturate e sono durate circa due ore. Agli intervistati è stato chiesto di descrivere la storia tecnica, commerciale e gestionale dei progetti di sviluppo prodotto con cui avevano familiarità e di discutere del successo tecnico e commerciale dei prodotti che ne sono derivati.

**19 / ASQ, marzo 1990**

## Innovazione architettuale

Al fine di convalidare i dati raccolti durante tale processo, è stata distribuita una breve storia dello sviluppo del prodotto per ciascun fornitore di apparecchiature a tutte le persone che erano state intervistate e ad altre persone che conoscevano bene la storia di un'azienda, e l'accuratezza di questo resoconto è stata discussa al telefono in interviste supplementari. Per la ricostruzione della storia tecnica del settore è stata seguita la stessa procedura di convalida. È stata costruita una storia tecnica utilizzando i dati delle interviste, la letteratura sui prodotti pubblicata e la stampa scientifica. Questa storia è stata distribuita a persone chiave che possedevano una conoscenza dettagliata della storia tecnica del settore, che l'hanno corretta di conseguenza.

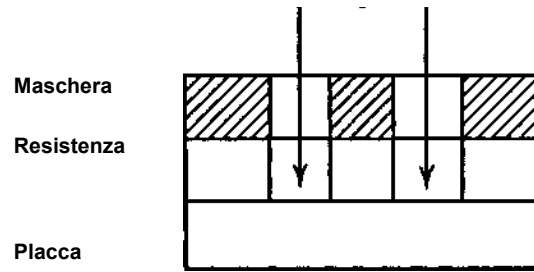
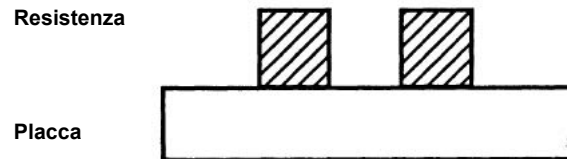
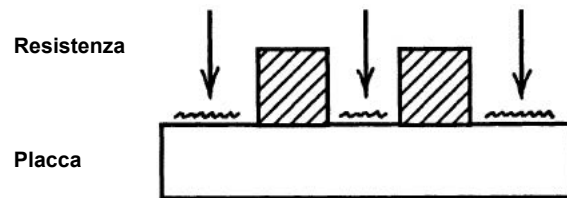
Abbiamo scelto di studiare l'industria delle apparecchiature di allineamento fotolitografico a semiconduttore per due motivi. Il primo è che è molto diversa dalle industrie in cui il nostro quadro è stato formulato per la prima volta, essendo caratterizzata da aziende molto più piccole e da un tasso di innovazione tecnologica molto più alto. Il secondo è che fornisce diversi esempi dell'impatto dell'innovazione architettuale sulla posizione competitiva delle aziende già esistenti. Le apparecchiature fotolitografiche sono state interessate da quattro ondate di innovazione architettuale, ognuna delle quali ha portato un nuovo competitor a conquistare la leadership del settore. Per basare la discussione sull'innovazione architettuale, forniamo una breve descrizione della tecnologia fotolitografica.

### La tecnologia

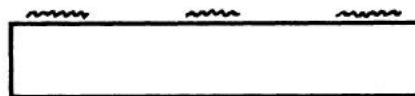
Gli allineatori fotolitografici vengono utilizzati per fabbricare dispositivi a semiconduttore a stato solido. La produzione di semiconduttori richiede il trasferimento di piccoli e complessi modelli sulla superficie di un wafer di materiale semiconduttore, come il silicio: questo processo di trasferimento è noto come litografia. La superficie del wafer è rivestita con una sostanza chimica sensibile alla luce o "resist". Il modello che deve essere trasferito sulla superficie del wafer viene disegnato su una maschera, la quale viene utilizzata per bloccare la luce che cade sul resist, in modo che solo le parti del resist definite dalla maschera siano esposte alla luce. La luce trasforma chimicamente il resist in modo che possa essere rimosso. Il modello risultante viene quindi utilizzato come base per la deposizione del materiale sulla superficie del wafer o per l'attacco del materiale esistente sulla superficie del wafer. Il processo può essere ripetuto fino a venti volte durante la fabbricazione di un dispositivo a semiconduttore e ogni strato deve essere posizionato con precisione rispetto allo strato precedente (Watts ed Einspruch, 1987). La Figura 2 fornisce una rappresentazione molto semplificata di questo complesso processo.

L'allineatore fotolitografico viene utilizzato per posizionare la maschera sul wafer, per mantenere i due elementi in posizione durante l'esposizione e per esporre il resist. La Figura 3 mostra un diagramma schematico di un dispositivo di allineamento a contatto, la prima generazione di apparecchiature di allineamento sviluppate. Il perfezionamento della tecnologia di allineamento ha comportato il miglioramento della dimensione critica, ovvero la dimensione della più piccola geometria che è possibile trasferire sulla superficie del wafer, della resa, ovvero la percentuale di wafer elaborati con successo e della produttività, ovvero il numero di wafer che l'allineatore può gestire in un dato tempo.

Figura 2. Rappresentazione schematica del processo litografico.

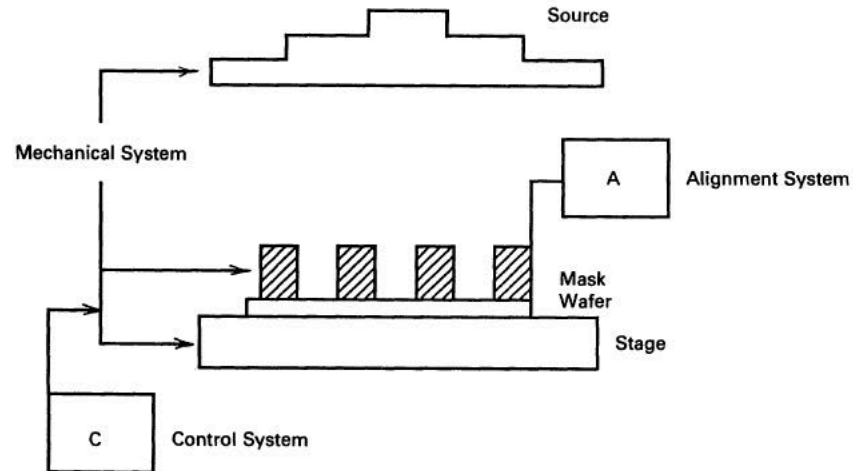
**PASSAGGI****1. Esporre il resist****2. Sviluppare il resist****3. Materiale di deposito****4. Rimuovere il resist rimanente**

modello  
formato su  
placca



Gli allineatori di contatti sono stati i primi allineatori fotolitografici ad essere usati commercialmente. Essi sfruttano l'ombra della maschera per trasferire il modello della maschera sulla superficie del wafer. La maschera e il wafer sono tenuti a contatto tra loro e la luce che filtra attraverso gli intervalli della maschera cade sulla superficie del wafer. Gli allineatori sono semplici e veloci da usare, ma la necessità di portare la maschera e il wafer a contatto diretto può danneggiare la maschera o contaminare il wafer. Il primo dispositivo di allineamento di prossimità è stato introdotto nel 1973 proprio per risolvere questi problemi.

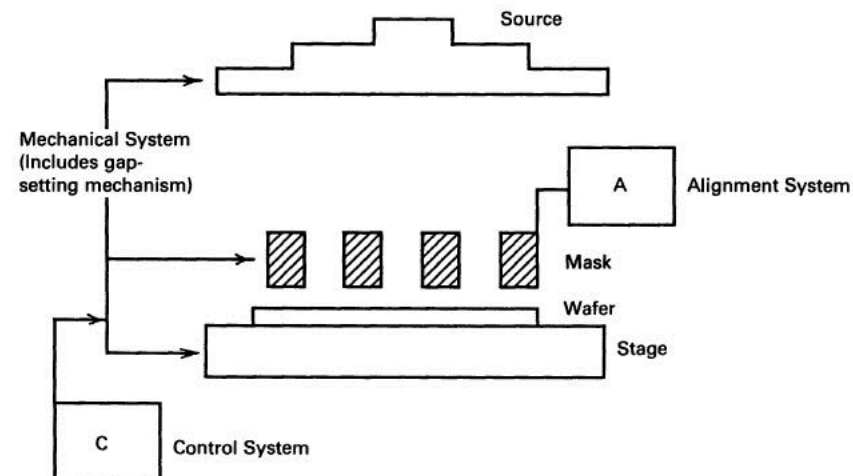
**Figura 3. Diagramma schematico di un allineatore a contatto**



In un dispositivo di allineamento di prossimità la maschera viene mantenuta a breve distanza (in prossimità) dalla superficie del wafer, come illustrato nello schema semplificato in Figura 4. La separazione della maschera e del wafer comporta una minore probabilità che vengano danneggiati durante l'esposizione, ma poiché la maschera e il wafer sono divisi, la luce che attraversa la maschera si diffonde prima di raggiungere il resist e l'ombra della maschera è meno definita di quanto non lo sia nel caso di un dispositivo di allineamento a contatto. Di conseguenza, gli utenti passati agli allineatori di prossimità hanno rinunciato a parte della risoluzione della dimensione critica in favore di una resa maggiore.

L'insieme di concetti di design fondamentali alla base della fotolitografia ottica – l'utilizzo di una sorgente di luce visibile per trasmettere l'immagine della maschera al wafer, una lente o altro dispositivo per focalizzare l'immagine della maschera sul wafer, un sistema di allineamento che utilizza la luce visibile e un sistema meccanico che mantiene in posizione la maschera e il wafer – è rimasto invariato da quando la tecnologia è stata sviluppata per la prima volta, sebbene le prestazioni degli allineatori siano notevolmente migliorate. La risoluzione della dimensione critica dei primi allineatori era di circa quindici-venti micron. Talvolta gli allineatori moderni hanno una dimensione critica inferiore a mezzo micron.

**Figure 4. Diagramma schematico di un dispositivo di allineamento di prossimità.**



In laboratorio sono state esplorate alternative radicali, che utilizzano concetti di base piuttosto diversi, ma non sono ancora state ampiamente introdotte nella produzione su vasta scala. Sono stati sviluppati allineatori che utilizzano raggi X e raggi ionici come sorgenti, così come allineatori a fasci d'elettroni direct-write, in cui un fascio focalizzato di elettroni viene utilizzato per scrivere direttamente sul wafer (Chang et al., 1977; Brown, Venkatesan, e Wagner, 1981; Burggraaf, 1983). Queste tecnologie sono chiaramente radicali. Non solo si basano su concetti di base piuttosto diversi per la fonte, ma usano anche tecnologie di maschera, allineamento e lenti differenti.

Un flusso costante di innovazione incrementale è stato fondamentale per il continuo successo della fotolitografia ottica. La tecnologia di ciascun componente è stata notevolmente migliorata. Le moderne fonti luminose sono significativamente più potenti e più uniformi e i moderni sistemi di allineamento sono molto più precisi. Inoltre, la tecnologia ha attraversato quattro ondate di innovazione architettuale: dall'allineamento a contatto a uno di prossimità, dall'allineamento di prossimità all'allineamento della proiezione di scansione, e dagli scanner agli "stepper" di prima e poi seconda generazione. La tabella 1 riassume i cambiamenti tecnologici introdotti da ciascuna generazione. In ogni caso, le tecnologie di base della litografia ottica sono rimaste sostanzialmente invariate e gran parte delle conoscenze tecniche acquisite durante una generazione precedente potrebbero essere trasferite a quella successiva. Eppure, in ciascun caso, il leader del

| Sintesi dell'innovazione architettuale nella tecnologia di allineamento fotolitografico |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Principali cambiamenti                                                                  |                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Apparecchia                                                                             | Tecnologia                                                                                              | Rapporti fondamentali tra i componenti                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Allineatore di prossimità                                                               | Maschera e wafer separati durante l'esposizione.                                                        | La precisione e la stabilità dell'intervallo sono una funzione dei collegamenti tra il meccanismo di impostazione dell'intervallo e gli altri componenti.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Proiezione tramite scansione                                                            | Immagine della maschera proiettata sul wafer mediante scansione dell'ottica riflettente.                | Le interazioni tra l'obiettivo e gli altri componenti sono fondamentali per ottenere prestazioni ottimali.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Stepper di prima generazione                                                            | Immagine della maschera proiettata mediante lente di rifrazione. L'immagine "ha attraversato" il wafer. | La relazione tra le dimensioni del campo dell'obiettivo e l'energia della fonte diventa un fattore determinante per la produttività. Le caratteristiche di profondità di messa a fuoco, legate alla relazione tra la lunghezza d'onda della sorgente e l'apertura numerica dell'obiettivo, assumono un'importanza fondamentale. Le interazioni tra la base e il sistema di allineamento sono fondamentali. |
| Stepper di seconda generazione                                                          | Introduzione dell'allineamento "sito per sito", obiettivi 5x più grandi.                                | La resa dipende ora dalla calibrazione e dalla stabilità dello stepper. La relazione tra l'obiettivo e il sistema meccanico diventa un mezzo fondamentale per il controllo della distorsione.                                                                                                                                                                                                              |

Fonte: Interviste sul campo, registri interni dell'azienda (Henderson, 1988).

La tabella 2 mostra la quota delle vendite cumulative deflazionate, 1962-1986, per generazione di attrezzature per le principali aziende. Il primo allineatore di successo a livello commerciale venne introdotto da Kulicke & Soffa nel 1965. La società ebbe un enorme successo e per i successivi nove anni detenne quasi il 100% del mercato (molto piccolo), tuttavia nel 1974 fu rimpiazzata da Cobilt e Kasper. Nel 1974 Perkin-Elmer entrò nel mercato con



Tabella 2

**Quota di vendite cumulative deflazionate (%) 1962-1986, per generazione, per il principale allineamento fotolitografico ottico Produttori di macchinari\***

| Azienda      | Contatto | Prossimità | Scanner | Apparecchiature di allineamento |                     |
|--------------|----------|------------|---------|---------------------------------|---------------------|
|              |          |            |         | Step and repeat (1)             | Step and repeat (2) |
| Cobilt       | 44       |            | <1      |                                 |                     |
| Kasper       | 17       | 8          |         | 7                               |                     |
| Canon        |          | 67         | 21      | 9                               |                     |
| Perkin-Elmer |          |            | 78      | 10                              | <1                  |
| GCA          |          |            |         | 55                              | 12                  |
| Nikon        |          |            |         |                                 | 70                  |
| Totale       | 61       | 75         | 99 +    | 81                              | 82 +                |

\* Tale misura è falsata dal fatto che tutti i prodotti sono ancora venduti. Per gli allineatori "step and repeat" di seconda generazione questo problema è particolarmente grave, poiché nel 1986 l'apparecchiatura era ancora nelle prime fasi del suo ciclo di vita. Fonte: Registri interni dell'azienda, Dataquest, VLSI Research

GCA, a sua volta, ha preso il posto di Perkin-Elmer con l'introduzione dello stepper, per poi essere soppiantata da Nikon, che ha introdotto lo stepper di seconda generazione.

In quasi tutti i casi, l'azienda già esistente ha investito molto nelle apparecchiature di prossima generazione, per riscuotere solo un successo molto ridotto. Dalla nostra analisi della storia del settore emerge che l'affidamento sulla conoscenza architeturale derivata dall'esperienza con la generazione precedente ha reso le aziende esistenti cieche di fronte ai principali aspetti della nuova tecnologia. Hanno quindi sottovalutato il suo potenziale o prodotto apparecchiature nettamente inferiori ai macchinari introdotti dalla concorrenza.

### La saga di Kasper

Il caso di Kasper Instruments e la sua risposta all'introduzione della stampante di prossimità da parte di Canon sono esemplificativi di alcuni dei problemi incontrati dalle aziende già esistenti. Kasper Instruments è stata fondata nel 1968 e nel 1973 era una piccola ma redditizia azienda che riforniva circa la metà del mercato degli allineatori. Nel 1973 Kasper introdusse il primo allineatore a contatto dotato di funzionalità di prossimità. Sebbene quasi la metà di tutti gli allineatori venduti dall'azienda dal 1974 in poi avesse questa capacità, gli allineatori Kasper venivano usati solo raramente in modalità di prossimità e le vendite diminuirono costantemente fino all'uscita dal mercato della società nel 1981. La diffusione dell'uso di allineatori di prossimità avvenne solo con l'introduzione e la generale adozione dell'allineatore di prossimità Canon, alla fine degli anni '70.

L'introduzione dell'allineatore di prossimità non è, chiaramente, un progresso radicale. Il cambiamento concettuale in questione è stato minore, inoltre la maggior parte degli allineatori di prossimità possono essere utilizzati anche come allineatori a contatto. Tuttavia, in un allineatore di prossimità, un'ampia varietà di relazioni tra i componenti è fondamentale per ottenere prestazioni elevate. L'introduzione dell'allineatore di prossimità è stata quindi un'innovazione architeturale. In particolare, in un allineatore di prossimità, le relazioni tra il meccanismo di impostazione dell'intervallo e gli altri componenti dell'allineatore sono estremamente diverse.

Sia negli allineatori a contatto e che in quelli di prossimità, la maschera e la superficie del wafer devono essere parallele tra loro durante l'esposizione, se la qualità dell'immagine finale sul wafer deve essere adeguata. Nel caso dell'allineatore a contatto la procedura è relativamente semplice poiché la maschera e il wafer sono in contatto diretto tra loro durante l'esposizione. Il meccanismo di impostazione dell'intervallo viene utilizzato solo per separare la maschera e il wafer durante l'allineamento. La sua stabilità e la sua precisione hanno un impatto minimo sulle prestazioni dell'allineatore. In un allineatore di prossimità, tuttavia, l'accuratezza e la precisione del meccanismo di impostazione degli intervalli sono fondamentali per le prestazioni dell'allineatore. L'intervallo tra la maschera e il wafer deve essere preciso e coerente tra le superfici della maschera e del wafer se l'allineatore deve garantire un buon funzionamento. Pertanto, il meccanismo di impostazione dell'intervallo deve localizzare la maschera esattamente nel punto giusto sopra il wafer mediante navigazione stimata e deve quindi garantire che la maschera sia mantenuta esattamente parallela al wafer. Poiché l'accuratezza e la stabilità del meccanismo dipendono tanto dal modo in cui è integrato con gli altri componenti quanto dal suo stesso design, è necessario variare le relazioni tra il meccanismo di impostazione dell'intervallo e gli altri componenti dell'allineatore perché quest'ultimo funzioni adeguatamente. Pertanto, la progettazione ottimale di un dispositivo di allineamento di prossimità richiede l'acquisizione sia di nuove conoscenze sui componenti - come costruire un meccanismo di impostazione dell'intervallo più preciso e stabile - sia di nuove conoscenze architetture.

L'incapacità di Kasper di comprendere la sfida posta dall'allineatore di prossimità è particolarmente sconcertante data la sua consolidata posizione di mercato e la sua profonda esperienza nel campo della fotolitografia. All'inizio degli anni '70, in Kasper lavoravano diversi designer altamente qualificati e creativi. Il gruppo progettò un flusso costante di allineatori a contatto, ciascuno con significativi miglioramenti incrementali. Dal 1968 al 1973, la risoluzione della dimensione critica degli allineatori a contatto della società passò da quindici a cinque micron.

Tuttavia, il grande successo di Kasper nella progettazione di allineatori a contatto contribuì in modo determinante alla sua incapacità di progettare un allineatore di prossimità in grado di offrire le stesse prestazioni di quello di Canon. L'allineatore di Canon era superficialmente molto simile a quello di Kasper. Benché incorporasse gli stessi componenti ed eseguisse le stesse funzioni, era molto più efficace poiché poteva contare su una comprensione molto più sofisticata delle interrelazioni tecniche fondamentali per un corretto allineamento di prossimità. Kasper non fu in grado di sviluppare quella particolare conoscenza dei componenti che avrebbe consentito di pareggiare il design di Canon. Per giunta, la conoscenza architetture sviluppata da Kasper grazie alla sua esperienza nel campo degli allineatori a contatto spinse la società a distogliere l'attenzione dai nuovi problemi la cui soluzione sarebbe stata fondamentale per la progettazione di un allineatore di prossimità di successo.

Kasper concepì l'allineatore di prossimità come un allineatore a contatto modificato. Come i precedenti miglioramenti incrementali all'allineatore a contatto, la progettazione dell'allineatore di prossimità fu gestita come un'ordinaria estensione della linea di prodotti. Il meccanismo di impostazione dell'intervallo utilizzato nell'allineatore a contatto per allineare tra loro la maschera e il wafer venne leggermente modificato e il nuovo allineatore fu lanciato sul mercato. Di conseguenza, l'allineatore di prossimità di Kasper non ebbe successo. Il meccanismo di impostazione dell'intervallo non era sufficientemente preciso o stabile per garantire prestazioni adeguate e l'allineatore venne usato raramente nella sua modalità di prossimità.

L'incapacità di Kasper di comprendere l'obsolescenza delle proprie conoscenze architetture è dimostrata graficamente tramite due eventi.

Il primo riguarda l'interpretazione da parte dell'azienda dei primi reclami relativi all'accuratezza del suo meccanismo di impostazione dell'intervallo. Nell'allineamento di prossimità, il disallineamento della maschera e del wafer può essere causato sia da inesattezze o instabilità nel meccanismo di impostazione degli intervalli sia da distorsioni introdotte durante l'elaborazione. Kasper attribuì molti dei problemi che gli utilizzatori delle sue apparecchiature di prossimità stavano riscontrando a un errore di elaborazione, poiché riteneva che quest'ultimo fosse stata la fonte principale dei problemi riscontrati con il suo dispositivo di allineamento a contatto. L'azienda "sapeva" che il suo meccanismo di impostazione degli intervalli era del tutto adeguato e, di conseguenza, dedicò pochissimo tempo al miglioramento delle sue prestazioni. In retrospettiva, questo può apparire come un abuso sfrenato di informazioni, ma non era altro che una costante dipendenza da un filtro di informazioni di cui l'azienda si era sempre servita.

Il secondo esempio riguarda la risposta di Kasper alla prima introduzione di un dispositivo di allineamento di prossimità da parte di Canon. L'allineatore Canon venne valutato da un team di Kasper e dichiarato una copia di un macchinario sviluppato dalla società. Kasper valutò il dispositivo in base ai criteri utilizzati per valutare i propri allineatori ovyn – criteri che erano stati sviluppati durante la sua esperienza nel campo degli allineatori a contatto. Le caratteristiche tecniche che portarono l'allineatore Canon a un significativo progresso, in particolare il meccanismo di impostazione dell'intervallo riprogettato, non furono prese in considerazione perché considerate non importanti. L'allineatore Canon venne dichiarato "una mera copia" dell'allineatore Kasper.

Il successivo fallimento commerciale di Kasper venne innescato da diversi fattori. La società ebbe problemi nella progettazione di un sistema di allineamento automatico di sufficiente precisione nonché nella gestione di un impianto di produzione a volume elevato. Alla fine degli anni '70, subì inoltre numerosi e repentini cambiamenti a livello di top management. Tuttavia, l'obsolescenza delle conoscenze architetture causata dall'introduzione dell'innovazione architetture fu un fattore decisivo per il suo declino.

Il fallimento di Kasper derivava principalmente da errori di riconoscimento: la conoscenza che aveva sviluppato attraverso la sua esperienza con gli allineatori a contatto rendeva difficile per l'azienda comprendere in che modo l'allineatore di prossimità Canon fosse superiore al suo. Problemi di riconoscimento simili si manifestano in tutti e quattro gli eventi di innovazione architetture della storia del settore. Il caso di Perkin-Elmer e della tecnologia degli stepper ne è un esempio. Alla fine degli anni '70, Perkin-Elmer aveva raggiunto la leadership di mercato con i suoi allineatori per la scansione a proiezione, ma la società non riuscì a mantenere tale leadership quando la tecnologia stepper arrivò a dominare il settore nei primi anni '80. Nel valutare le due tecnologie, gli ingegneri Perkin-Elmer stimarono con precisione i progressi dei singoli componenti nei due sistemi, ma non riuscirono a vedere come le nuove interazioni nello sviluppo dei componenti – compresi migliori sistemi di resist e una migliore progettazione dell'obiettivo – avrebbero offerto alla tecnologia stepper un vantaggio decisivo.

GCA, la società che sottrasse la leadership a Perkin-Elmer, fu a sua volta soppiantata da Nikon, che introdusse uno stepper di seconda generazione. GCA ebbe in parte problemi di riconoscimento, ma la sua incapacità di padroneggiare la nuova tecnologia stepper era dovuta soprattutto a problemi di implementazione. Seguendo l'esempio di Kasper, GCA dichiarò subito lo stepper Nikon una "copia" del design GCA. Anche dopo che ebbe pienamente riconosciuto la minaccia rappresentata dallo stepper di seconda generazione, l'esperienza storica di GCA l'ostacolò nei suoi tentativi di sviluppare una macchina competitiva. Gli ingegneri dell'azienda erano organizzati per componenti, e i canali di comunicazione tra i vari dipartimenti erano tutti strutturati attorno all'architettura del sistema di prima generazione. Se da un lato gli ingegneri di GCA furono in grado di superare i limiti della tecnologia dei componenti, dall'altro ebbero grandi difficoltà a capire che cosa Nikon avesse fatto per ottenere prestazioni superiori.

Nikon aveva cambiato aspetti del design, in particolare le modalità in cui il sistema ottico era integrato con il resto dell'allineatore, di cui gli ingegneri di GCA possedevano una comprensione limitata. Inoltre, poiché tali cambiamenti riguardavano le interazioni tra i componenti, vi erano pochi ingegneri responsabili dello sviluppo di questa comprensione. Di conseguenza, le macchine di seconda generazione di GCA non offrivano il tipo di prestazioni richieste dal mercato. Come Kasper e Perkin-Elmer prima di loro, le vendite di GCA languirono e la società perse la leadership di mercato. In tutti e tre i casi, anche altri fattori hanno contribuito alla drammatica perdita di quote di mercato dell'azienda, ma l'incapacità di rispondere efficacemente all'innovazione architettuale è stata di fondamentale importanza.

## DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Presumiamo che le organizzazioni siano estremamente razionali e, quindi, che la loro conoscenza e struttura di elaborazione delle informazioni arrivino a rispecchiare la struttura interna del prodotto che stanno progettando. Questa è chiaramente un'approssimazione. Sarebbe interessante indagare come la formulazione della conoscenza architettuale e dei componenti sia influenzata da fattori come la storia e la cultura dell'azienda. Analogamente, presumiamo che le conoscenze architetturelle incorporate nelle routine e nei canali diventino inerti e difficili da cambiare. La futura ricerca, intesa a studiare in modo più dettagliato i filtri di informazione, le strategie di risoluzione dei problemi e i canali di comunicazione, potrebbe analizzare fino a che punto ciò possa essere evitato.

Le idee qui sviluppate potrebbero anche essere collegate a quelle di autori come Abernathy e Clark (1985), i quali hanno operato una distinzione tra un'innovazione in grado di mettere in discussione le capacità tecniche di un'organizzazione e un'innovazione in grado di mettere in discussione la conoscenza dell'organizzazione del mercato e delle esigenze dei clienti. La ricerca potrebbe inoltre esaminare la misura in cui queste intuizioni sono applicabili ai problemi di innovazione e sviluppo del processo.

Potrebbe inoltre essere sviluppato il lato empirico del presente documento. Se da un lato l'idea di innovazione architetturelle fornisce spunti interessanti sull'evoluzione delle apparecchiature di allineamento fotolitografico a semiconduttore, dall'altro, ulteriori ricerche potrebbero indagare fino a che punto sia uno strumento utile per comprendere l'impatto dell'innovazione in altri settori.

27 / ASQ, marzo 1990

Il concetto di innovazione architettuale e i concetti correlati di componente e conoscenza architettuale hanno diverse e importanti implicazioni. Queste idee non solo consentono una caratterizzazione più completa di diversi tipi di innovazione, ma individuano nuove aree di comprensione delle connessioni tra innovazione e capacità organizzativa. Il documento suggerisce, ad esempio, che dobbiamo approfondire la nostra comprensione della tradizionale distinzione tra innovazione migliorativa e innovazione distruttiva delle competenze interne dell'azienda, poiché l'essenza dell'innovazione architettuale è la capacità di migliorare e distruggere la competenza, spesso in maniera quasi impercettibile.

L'effetto di un'innovazione architettuale dipende direttamente dalla natura dell'apprendimento organizzativo. Il presente documento non solo sottolinea il ruolo dell'apprendimento organizzativo nell'innovazione, ma suggerisce anche una nuova prospettiva sul problema. Dato il carattere evolutivo dello sviluppo e la prevalenza di design dominanti, sembra esservi tra gli ingegneri la tendenza a concentrarsi sui miglioramenti delle prestazioni all'interno di un'architettura di prodotto stabile. In tale contesto, apprendere significa apprendere i componenti e i concetti chiave sottostanti. Dato il modo in cui la conoscenza tende ad essere organizzata all'interno dell'azienda, è improbabile che l'apprendimento dei cambiamenti nell'architettura del prodotto avvenga in modo naturale. Per comprendere i cambiamenti architettureali e le nuove interazioni tra i componenti (e spesso oltre i limiti funzionali) possono quindi essere necessarie una gestione e un'attenzione esplicite. Tuttavia è anche possibile che l'apprendimento di nuove architetture richieda un diverso tipo di organizzazione e persone con competenze diverse. Un'organizzazione strutturata per apprendere in modo rapido ed efficace la nuova tecnologia dei componenti può essere inefficace nell'apprendimento dei cambiamenti nell'architettura del prodotto. Da cosa dipenda l'apprendimento efficace delle nuove architetture e come l'apprendimento dei componenti possa essere correlato ad esso sono questioni che meritano ulteriori approfondimenti.

Queste idee forniscono inoltre un'interessante prospettiva per comprendere l'attuale tendenza dei team interfunzionali e degli ambienti organizzativi più aperti. Tali meccanismi possono essere una risposta alla percezione del pericolo rappresentato dal consentire alla conoscenza architettuale di integrarsi in collegamenti taciti o informali.

Nella misura in cui anche altre mansioni svolte dalle organizzazioni possono essere descritti come una serie di componenti interconnessi all'interno di un quadro relativamente stabile, l'idea di innovazione architettuale fornisce spunti su problemi che vanno oltre lo sviluppo e la progettazione del prodotto. Nella misura in cui la produzione, il marketing e la finanza si basano su canali di comunicazione, filtri informativi e strategie di risoluzione dei problemi per integrare il loro operato, anche l'innovazione architettuale a livello aziendale può rappresentare un problema significativo.

Infine, una comprensione dell'innovazione architettuale sarebbe utile per discutere degli effetti della tecnologia sulla strategia competitiva. Poiché l'innovazione architettuale ha il potenziale di offrire alle aziende l'opportunità di ottenere un significativo vantaggio rispetto a società dominanti e ben radicate, non ci stupiremmo se le aziende concorrenti meno radicate cercassero attivamente opportunità per apportare cambiamenti architettureali al prodotto di un dato settore.

28 / ASQ, marzo 1990

28 / ASQ, marzo 1990

I risultati presentati in questo e in altri studi indicano che l'innovazione architetture è piuttosto diffusa. Alla stregua di una lente interpretativa, l'innovazione architetture può quindi rivelarsi molto utile per comprendere la rivalità in termini di tecnologia in una varietà di settori.

## REFERENCES

- Abernathy, William J.**  
1978 *The Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Abernathy, William J., and Kim Clark**  
1985 "Innovation: Mapping the winds of creative destruction." *Research Policy*, 14: 3–22.
- Abernathy, William J., and James Utterback**  
1978 "Patterns of industrial innovation." *Technology Review*, June–July: 40–47.
- Alexander, Christopher**  
1964 *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Argyris, Chris, and Donald Schön**  
1978 *Organizational Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Arrow, Kenneth**  
1974 *The Limits of Organization*. New York: Norton.
- Arthur, Brian**  
1988 "Competing technologies: An overview." In Giovanni Dosi et al. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*: 590–607. New York: Columbia University Press.
- Brown, William L., T. Venkatesan, and A. Wagner**  
1981 "Ion beam lithography." *Solid State Technology*, August: 60–67.
- Burggraaf, Pieter**  
1983 "X-Ray lithography: Optical's heir." *Semiconductor International*, September: 60–67.
- Burns, Tom, and George Stalker**  
1966 *The Management of Innovation*. London: Tavistock.
- Chang, T. H. P., M. Hatzakis, A. D. Wilson, and A. N. Broers**  
1977 "Electron-beam lithography draws a finer line." *Electronics*, May: 89–98.
- Clark, Kim B.**  
1985 "The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution." *Research Policy*, 14: 235–251.  
1987 "Managing technology in international competition: The case of product development in response to foreign entry." In Michael Spence and Heather Hazard (eds.), *International Competitiveness*: 27–74. Cambridge, MA: Ballinger.
- Cooper, Arnold C., and Dan Schendel**  
1976 "Strategic response to technological threats." *Business Horizons*, 19: 61–69.
- Cyert, Richard M., and James G. March**  
1963 *A Behavioral Theory of the Firm*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Daft, Richard L.**  
1982 "Bureaucratic versus nonbureaucratic structure and the process of innovation and change." In Samuel B. Bacharach (ed.), *Research in the Sociology of Organizations*, 1: 129–166. Greenwich, CT: JAI Press.
- Daft, Richard L., and Karl E. Weick**  
1984 "Towards a model of organizations as interpretation systems." *Academy of Management Review*, 9: 284–295.
- David, Paul A.**  
1985 "Clio and the economics of QWERTY." *American Economic Review*, 75: 332–337.
- Dess, Gregory G., and Donald Beard**  
1984 "Dimensions of organizational task environments." *Administrative Science Quarterly*, 29: 52–73.
- Dewar, Robert D., and Jane E. Dutton**  
1986 "The adoption of radical and incremental innovations: An empirical analysis." *Management Science*, 32: 1422–1433.
- Dosi, Giovanni**  
1982 "Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change." *Research Policy*, 11: 147–162.
- Dutton, Jane E., and Susan E. Jackson**  
1987 "Categorizing strategic issues: Links to organizational action." *Academy of Management Review*, 12: 76–90.
- Ettlie, John E., William P. Bridges, and Robert D. O'Keefe**  
1984 "Organizational strategy and structural differences for radical vs. incremental innovation." *Management Science*, 30: 682–695.
- Freeman, Christopher**  
1982 *The Economics of Industrial Innovation*, 2d ed. Cambridge, MA: MIT Press.
- Galbraith, Jay**  
1973 *Designing Complex Organizations*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Gardiner, J. P.**  
1986 "Design trajectories for airplanes and automobiles during the past fifty years." In Christopher Freeman (ed.), *Design, Innovation and Long Cycles in Economic Development*: 121–141. London: Francis Pinter.
- Hage, Jerald**  
1980 *Theories of Organization*. New York: Wiley Interscience.
- Hannan, Michael T., and John Freeman**  
1984 "Structural inertia and organizational change." *American Sociological Review*, 49: 149–164.
- Hedberg, Bo L. T.**  
1981 "How organizations learn and unlearn." In P. C. Nystrom and W. H. Starbuck (eds.), *Handbook of Organizational Design*, 1: 3–27. New York: Oxford University Press.

**Henderson, Rebecca M.**

1988 "The failure of established firms in the face of technical change: A study of photolithographic alignment equipment." Unpublished Ph.D. dissertation, Harvard University.

**Hollander, Samuel**

1965 *The Sources of Increased Efficiency: A Study of Du Pont Rayon Plants*. Cambridge, MA: MIT Press.

**Jackson, Susan E., and Jane E. Dutton**

1988 "Discerning threats and opportunities." *Administrative Science Quarterly*, 33: 370–387.

**Kahneman, David, Paul Slovic, and Amos Tversky**

1982 *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge: Cambridge University Press.

**Lawrence, Paul R., and Jay W. Lorsch**

1967 *Organization and Environment: Managing Differentiation and Integration*. Homewood, IL: Irwin.

**Louis, Meryl R., and Robert I. Sutton**

1989 "Switching cognitive gears: From habits of mind to active thinking." Working Paper, School of Industrial Engineering, Stanford University.

**Lyles, Majorie A., and Ian I. Mitroff**

1980 "Organizational problem formulation: An empirical study." *Administrative Science Quarterly*, 25: 102–119.

**Mansfield, Edwin**

1968 *Industrial Research and Technical Innovation*. New York: Norton.  
1977 *The Production and Application of New Industrial Technology*. New York: Norton.

**March, James G., and****Herbert A. Simon**

1958 *Organizations*. New York: Wiley.

**Marples, David L.**

1961 "The decisions of engineering design." *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM.8 (June): 55–71.

**Miller, Ronald, and David Sawyers**

1968 *The Technical Development of Modern Aviation*. New York: Praeger.

**Mintzberg, Henry**

1979 *The Structuring of Organizations*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

**Moch, Michael, and****Edward V. Morse**

1977 "Size, centralization and organizational adoption of innovations." *American Sociological Review*, 42: 716–725.

**Nelson, Richard, and****Sidney Winter**

1982 *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

**Rosenberg, Nathan**

1982 *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.

**Rothwell, Roy**

1986 "The role of small firms in the emergence of new technologies." In Christopher Freeman (ed.), *Design, Innovation and Long Cycles in Economic Development*: 231–248. London: Francis Pinter.

**Sahal, Devendra**

1986 "Technological guideposts and innovation avenues." *Research Policy*, 14: 61–82.

**Schumpeter, Joseph A.**

1942 *Capitalism, Socialism and Democracy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

**Tushman, Michael L., and Philip Anderson**

1986 "Technological discontinuities and organizational environments." *Administrative Science Quarterly*, 31: 439–465.

**von Hippel, Eric**

1990 "Task partitioning: An innovation process variable." *Research Policy* (in press).

**Watts, Roderick K., and****Norman G. Einspruch (eds.)**

1987 *Lithography for VLSI, VLSI Electronics—Microstructure Science*. New York: Academic Press.

**Weick, Karl E.**

1979 "Cognitive processes in organizations." In B. M. Staw and L. L. Cummings (eds.), *Research in Organizational Behavior*, 1: 41–47. Greenwich, CT: JAI Press.

