

# LUISS



Dipartimento di Impresa e Management

Cattedra di Economia Industriale

## L'industria dei semiconduttori

Prof. Cesare Pozzi

---

RELATORE

Lorenzo Alessandrini 244141

---

CANDIDATO

Anno Accademico 2021/2022

# SOMMARIO

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>CONDIZIONI DI BASE</b>	<b>4</b>
<b>2. I SEMICONDUTTORI</b>	<b>4</b>
<b>3. TECNOLOGIA E PROCESSO PRODUTTIVO</b>	<b>4</b>
<b>3.1. DESIGN</b>	<b>4</b>
<b>3.2. FABBRICAZIONE</b>	<b>5</b>
<b>3.2.1. Trasformazione del silicio in lingotti</b>	<b>5</b>
<b>3.2.2. Il wafer</b>	<b>6</b>
<b>3.2.3. Fotolitografia</b>	<b>6</b>
<b>3.2.4. Impiantazione ionica</b>	<b>7</b>
<b>3.2.5. Realizzazione del transistor</b>	<b>8</b>
<b>3.2.6. Realizzazione delle connessioni</b>	<b>9</b>
<b>3.2.7. Strati metallici</b>	<b>9</b>
<b>3.3. ASSEMBLAGGIO, TEST ED IMBALLAGGIO</b>	<b>10</b>
<b>STRUTTURA</b>	<b>12</b>
<b>4. DIFFERENZIAZIONE DEI PRODOTTI E DIVERSIFICAZIONE DELLE IMPRESE</b>	<b>12</b>
<b>4.1. CHIP LOGICI</b>	<b>12</b>
<b>4.2. CHIP DI MEMORIA</b>	<b>13</b>
<b>4.3. CHIP DISCRETO, ANALOGICI E ALTRO (DAO)</b>	<b>13</b>
<b>5. LA DIMENSIONE</b>	<b>14</b>
<b>6. INTEGRAZIONE VERTICALE</b>	<b>14</b>
<b>6.1. IDM</b>	<b>15</b>
<b>6.2. FABLESS</b>	<b>16</b>
<b>6.3. FOUNDRY</b>	<b>16</b>
<b>6.4. OSAT</b>	<b>16</b>
<b>7. DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA</b>	<b>17</b>
<b>7.1. PRODUZIONE</b>	<b>18</b>
<b>7.1.1. Design</b>	<b>19</b>
<b>7.1.2. Fabbricazione</b>	<b>20</b>
<b>7.1.3. Assemblaggio, test e imballaggio</b>	<b>21</b>
<b>7.2. ATTREZZATURE PER LA PRODUZIONE DI SEMICONDUTTORI (SEMICONDUCTOR MANUFACTURING EQUIPMENT – SME)</b>	<b>22</b>
<b>7.2.1. Produzione e manipolazione dei wafer (Wafer Manufacturing, and Handling)</b>	<b>23</b>
<b>7.2.2. Impiantatori ionici (Ion Implanters)</b>	<b>24</b>
<b>7.2.3. Litografia (Lithography)</b>	<b>24</b>
<b>7.2.4. Deposizione (Deposition)</b>	<b>25</b>
<b>7.2.5. Incisione e pulizia (Etch and clean)</b>	<b>26</b>
<b>7.2.6. Planarizzazione Chimica Meccanica (Chemical Mechanical Planarization)</b>	<b>27</b>
<b>7.2.7. Controllo di processo (Process control)</b>	<b>28</b>
<b>7.2.8. Assemblaggio e imballaggio (Assembling e packaging)</b>	<b>28</b>
<b>7.2.9. Test</b>	<b>29</b>
<b>7.3. AUTOMAZIONE DELLA PROGETTAZIONE ELETTRONICA E PROPRIETÀ INTELLETTUALE FONDAMENTALE (ELECTRONIC DESIGN AUTOMATION AND CORE IP)</b>	<b>30</b>
<b>7.4. MATERIALI</b>	<b>31</b>

<b>7.5. RICERCA E SVILUPPO</b>	<b>33</b>
<b>7.6. L'INDUSTRIA DEI SEMICONDUTTORI IN ITALIA</b>	<b>34</b>
<b>8. BARRIERE ALL'ENTRATA</b>	<b>36</b>
<b>CONDOTTA DELLE IMPRESE</b>	<b>39</b>
<b>9. CONDOTTA DELLE IMPRESE</b>	<b>39</b>
<b>PERFORMANCE</b>	<b>40</b>
<b>10. ANALISI DELLA PERFORMANCE</b>	<b>40</b>
<b>11. PERFORMANCE POSITIVA</b>	<b>40</b>
<b>11.1. SPECIALIZZAZIONE GEOGRAFICA</b>	<b>40</b>
<b>12. LA CRISI DEI SEMICONDUTTORI</b>	<b>41</b>
<b>13. LE CAUSE DELLA CRISI: IL DUPLICE EFFETTO DELLA SPECIALIZZAZIONE</b>	<b>42</b>
<b>ANALISI GEOPOLITICA</b>	<b>44</b>
<b>14. ANALISI GEOPOLITICA</b>	<b>44</b>
<b>14.1. POLITICHE CINESI</b>	<b>44</b>
<b>14.2. GLI STATI UNITI</b>	<b>46</b>
<b>14.3. IL RUOLO DEL TAIWAN</b>	<b>47</b>
<b>14.4. L'ANDAMENTO DISCENDENTE DEL SETTORE EUROPEO: NECESSITÀ DI POLITICA INDUSTRIALE</b>	<b>48</b>
<b>STRATEGIA</b>	<b>49</b>
<b>15. STRATEGIA PER L'ITALIA</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSIONE</b>	<b>51</b>
<b>16. CONCLUSIONE</b>	<b>51</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>55</b>

# INTRODUZIONE

## 1. Introduzione

Con il termine semiconduttori ci si riferisce ai più noti chip. Si tratta di componenti alla base di tutta la tecnologia moderna, presenti in tutti gli strumenti digitali, a partire dalle automobili e dai macchinari industriali fino ai dispositivi di internet delle cose, realtà virtuale e intelligenza artificiale, passando per smartphone, elettrodomestici e per strumenti di utilizzo militare. Il settore dei semiconduttori è estremamente importante per lo sviluppo economico ma anche per la sicurezza nazionale. L'importanza di questo settore ha attirato l'attenzione dell'opinione pubblica a partire dal 2019, anno in cui è nata la crisi dei semiconduttori. In questo elaborato verrà svolta l'analisi del settore dei semiconduttori sulla base del paradigma di Scherer basato su condizioni di base-struttura-condotta-performance. Il paradigma si basa sull'ipotesi che la società si aspetta dai produttori di beni e servizi una buona performance, non intesa solo in termini di allocazione dei beni, ma intesa come parametro multidimensionale che comprende diversi scopi stabiliti dalla stessa comunità di riferimento. Scherer individua dei "gruppi di caratteristiche o variabili che influenzano la performance" e si propone di "elaborare delle teorie che descrivano in dettaglio la natura dei legami esistenti tra tali caratteristiche e le performances finali". Le performances di particolari industrie o mercati dipendono dalla condotta delle imprese, la condotta dipende a sua volta dalla struttura del relativo mercato, condotta e struttura subiscono l'influenza di varie condizioni di base. (Scherer, 1985) L'analisi permetterà di comprendere a fondo le caratteristiche di questo settore e la sua importanza e comprendere le cause della crisi contemporanea. L'analisi sarà inoltre finalizzata ad individuare la strategia che l'Italia dovrà adottare per sopravvivere in questo settore. Entrando nel dettaglio l'analisi inizierà con la descrizione del prodotto e lo studio del processo produttivo. Successivamente verrà analizzata la struttura del mercato, si inizierà con la differenziazione dei prodotti e l'integrazione verticale e prima di passare alle barriere all'entrata si analizzerà la distribuzione globale della filiera produttiva che, nonostante non sia prevista nel paradigma, rappresenta un aspetto fondamentale di questo settore. Dopo una rassegna sulla condotta delle imprese ci si dedicherà ampiamente alla valutazione delle performance in cui ci si concentrerà sulla crisi. In relazione a quest'ultima verranno prese in analisi le politiche dei principali attori statali del settore. L'elaborato si concluderà con un'analisi strategica sull'Italia da cui emergerà la necessità di un paradigma che consideri la politica industriale come un intervento sistemico.

# CONDIZIONI DI BASE

## 2. I semiconduttori

I chip sono componenti altamente specializzati che forniscono le funzionalità essenziali ai dispositivi elettronici per elaborare, archiviare e trasmettere dati. I chip sono composti da un insieme di circuiti elettronici miniaturizzati composti a loro volta da dispositivi attivi discreti e dispositivi passivi, ai quali si aggiungono le interconnessioni tra di essi. I dispositivi attivi discreti producono o consegnano energia, come transistor e diodi. I dispositivi passivi invece utilizzano o conservano energia, fanno parte di questa categoria i condensatori e i resistori. I chip sono circuiti integrati, infatti la peculiarità dei chip moderni è che ognuna delle componenti è realizzata direttamente su un sottile wafer di materiale semiconduttore, tipicamente il silicio. Questa caratteristica è fondamentale per la realizzazione di chip efficaci ed efficienti ed è possibile grazie alle particolari caratteristiche dei materiali semiconduttori. Come si intuisce dal termine stesso, i materiali semiconduttori hanno la speciale proprietà di poter essere sia conduttori che isolanti a seconda del trattamento che ricevono. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 9)

## 3. Tecnologia e processo produttivo

La produzione dei chip è estremamente complessa e richiede numerosi passaggi. Il processo produttivo può essere diviso in tre fasi principali: la prima è quella del design, la seconda è quella della fabbricazione (*foundry*) e la terza comprende assemblaggio, test ed imballaggio (*Assembly, testing, packaging, ATP*)

### 3.1. Design

La prima fase è quella del design, in cui viene progettato il chip, e viene svolta in quattro passaggi. La specificazione (*specification*) stabilisce il ruolo del chip all'interno del sistema e individua i vari moduli o componenti di cui il chip ha bisogno. Il design logico (*logic design*) si occupa di individuare un modello di interconnessione tra le varie componenti. Il design fisico (*physical design*) stabilisce come trasferire questo modello su un supporto fisico. Ed infine l'ultima fase è quella di validazione e verifica (*validation and verification*) in cui si eseguono dei test per garantire l'efficacia del design. Il design per funzionare ha bisogno di due ulteriori elementi esterni. Il primo di questi è l'*electronic design automation o EDA*, ovvero la produzione di software specializzati per la progettazione automatica che permettono di eseguire in automatico miliardi di connessioni che altrimenti dovrebbero essere fatte a mano. Un ulteriore elemento fondamentale è quello della proprietà intellettuale fondamentale (*core intellectual property - IP*), alcune imprese si occupano di progettare specifici moduli e di fornirli alle imprese di design che li inseriscono all'interno del progetto finale. (Khan, Mann, & Peterson, 2021, p. 6)

## 3.2. Fabbricazione

Questa fase è quella più complicata e con più passaggi. Secondo la Boston Consulting Group (BCG) e la Semiconductor Industry Association (SIA), il processo di manifattura dei semiconduttori comprende dai 400 ai 1400 passaggi a seconda del prodotto. Il tempo impiegato per portare a termine un ciclo produttivo è di circa tre mesi ma può raggiungere i cinque mesi per i processi più avanzati. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 16) Nelle prossime righe verranno analizzati i passaggi chiave della fabbricazione di un tipico chip da 22 nanometri.

### 3.2.1. Trasformazione del silicio in lingotti

Il materiale fondamentale per la realizzazione dei chip è il silicio. Il silicio è il secondo materiale più diffuso sulla crosta terrestre e si può trovare comunemente nella sabbia. È un semiconduttore, pertanto può essere velocemente trasformato in un conduttore o in un isolante grazie all'inserimento di piccolissime impurità. Per essere utilizzato nella costruzione di chip, il silicio deve essere purificato in maniera tale da contenere meno di un atomo impuro ogni due miliardi. Il silicio viene tirato da uno stato fuso fino a formare un solido costituito da un singolo, continuo ed ininterrotto reticolo cristallino di forma cilindrica, chiamato lingotto. Ciò avviene in appositi forni chiamati forni per la crescita del cristallo. Il lingotto ottenuto ha un diametro di 300mm e pesa circa 100 kg. Inizialmente venivano utilizzati lingotti del diametro di 50 mm ed è previsto in futuro l'aumento del diametro fino a 450 mm in modo da aumentare il numero di chip realizzabili con un unico lingotto e ridurre i costi e il tempo di produzione unitari. (Intel Corporation, 2012)

Figura 1 – Da sinistra verso destra: la sabbia da cui si ricava il silicio; il silicio viene fuso per formare il lingotto; lingotto monocristallino di silicio.

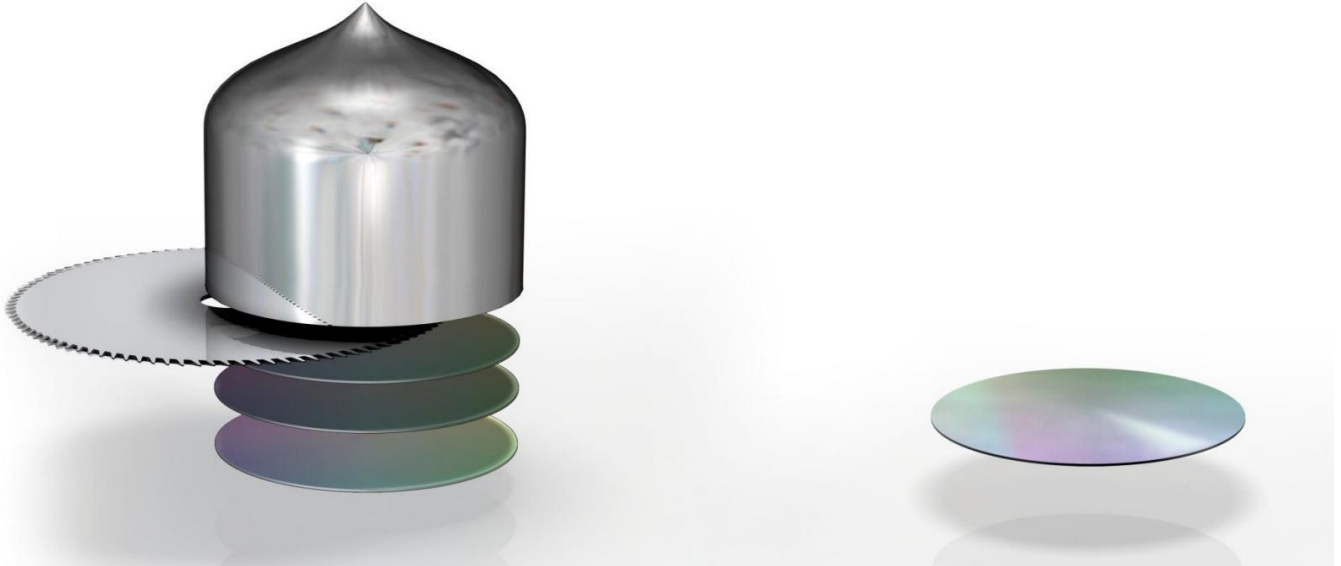


Fonte: (Intel Corporation, 2012)

### 3.2.2. Il wafer

Il lingotto viene tagliato in dischi di silicio chiamati wafer. I wafer vengono trattati e puliti fino ad avere una superficie perfetta e a specchio. La costruzione dei chip su un wafer è il risultato di centinaia di passaggi estremamente precisi che consiste nel sovrapporre una serie di strati uno sull'altro. (Intel Corporation, 2012)

Figura 2 – Il lingotto viene tagliato per formare i wafer di silicio

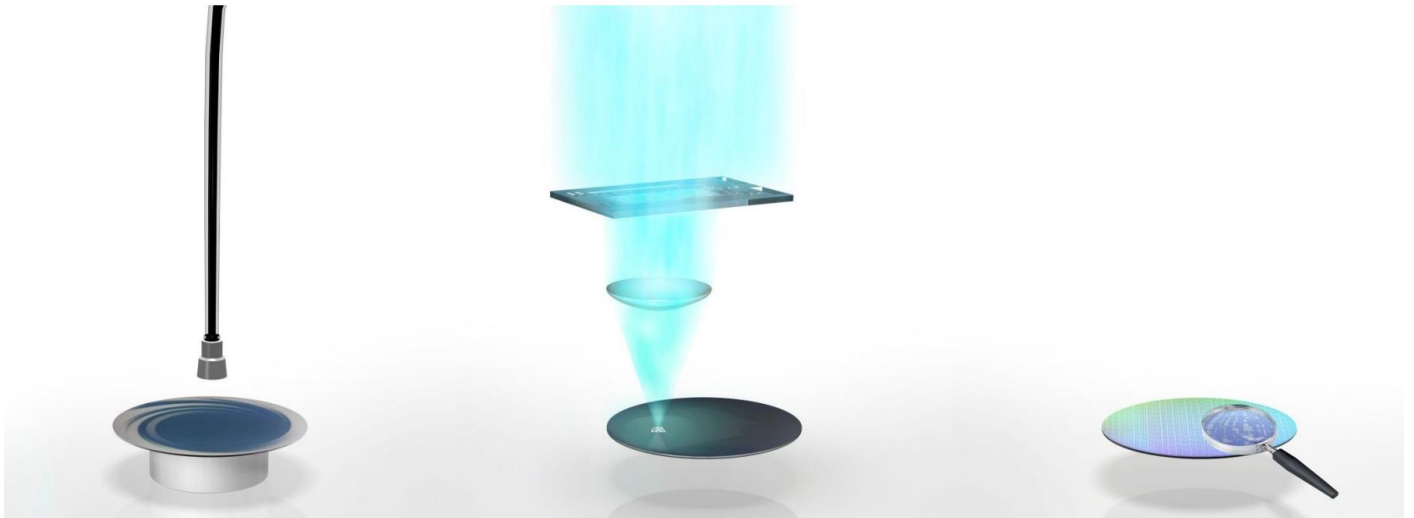


Fonte: (Intel Corporation, 2012)

### 3.2.3. Fotolitografia

La fotolitografia è il processo mediante il quale uno specifico disegno, realizzato in fase di design, viene stampato sul wafer. Tale processo si articola in tre fasi: applicazione del fotoresistente, esposizione e sviluppo della resistenza. Il processo inizia quindi con l'applicazione di un liquido noto come fotoresistente che viene versato sul wafer. Il wafer viene fatto ruotare per assicurarne una distribuzione uniforme sulla superficie, questo processo è chiamato *spin coating*. Il nome fotoresistente deriva dal fatto che esso è sensibile ad alcune frequenze di luce (foto) e resistente ad alcune sostanze chimiche che verranno utilizzate successivamente per rimuovere porzioni di strato del materiale (resistente). Successivamente il fotoresistente viene fatto indurire, ed alcune porzioni di esso vengono esposte ad una luce ad ultravioletti tramite degli scanner, la luce lo rende solubile. L'esposizione viene solitamente effettuata usando delle maschere che agiscono come stampi, in maniera da rendere solubili solamente delle specifiche porzioni del fotoresistente. In questo modo il disegno viene trasferito sul wafer. Infine il fotoresistente solubile viene rimosso con un processo chimico, e viene lasciato uno strato di fotoresistente determinato dal disegno contenuto nella maschera. Una tecnologia alternativa è la litografia senza maschera. In particolare, invece che utilizzare una maschera con il disegno prestampato, il disegno viene impresso direttamente sul wafer tramite un fascio di elettroni, un laser o un fascio di ioni. Questa tecnologia ha il vantaggio di poter sviluppare più velocemente un nuovo design ma risulta poco usata perché troppo lenta per la produzione di massa. Questa tecnica è usata prevalentemente per la produzione delle maschere. (Intel Corporation, 2012)

Figura 3 – Da sinistra verso destra: applicazione del fotoresistente; esposizione; sviluppo della resistenza.



Fonte: (Intel Corporation, 2012)

### 3.2.4. Impiantazione ionica

La fase successiva è l’impiantazione ionica che ha lo scopo di rendere il wafer di silicio conduttore in alcune zone e isolante in altre mettendo le basi per la formazione dei transistor. Il wafer con il fotoresistente impresso viene bombardato da un fascio di ioni (atomi con carica positiva o negativa) che diventa incorporato sotto la superficie negli spazi non coperti dal fotoresistente. Questo processo è chiamato drogaggio o dopaggio (doping), in quanto vengono introdotte nel silicio delle impurità che alterano la capacità conduttiva del wafer in determinate aree. In seguito, il fotoresistente viene rimosso, ed il risultato sarà un wafer con aree dopate, chiamate pozzi, nelle quali verranno realizzato i transistor. (Intel Corporation, 2012)

Figura 4 – Da sinistra verso destra: impiantazione ionica; rimozione del fotoresistente; l’ultima immagine sulla destra rappresenta una piccola porzione del wafer dove un singolo transistor verrà realizzato, la regione verde rappresenta il silicio dopato.



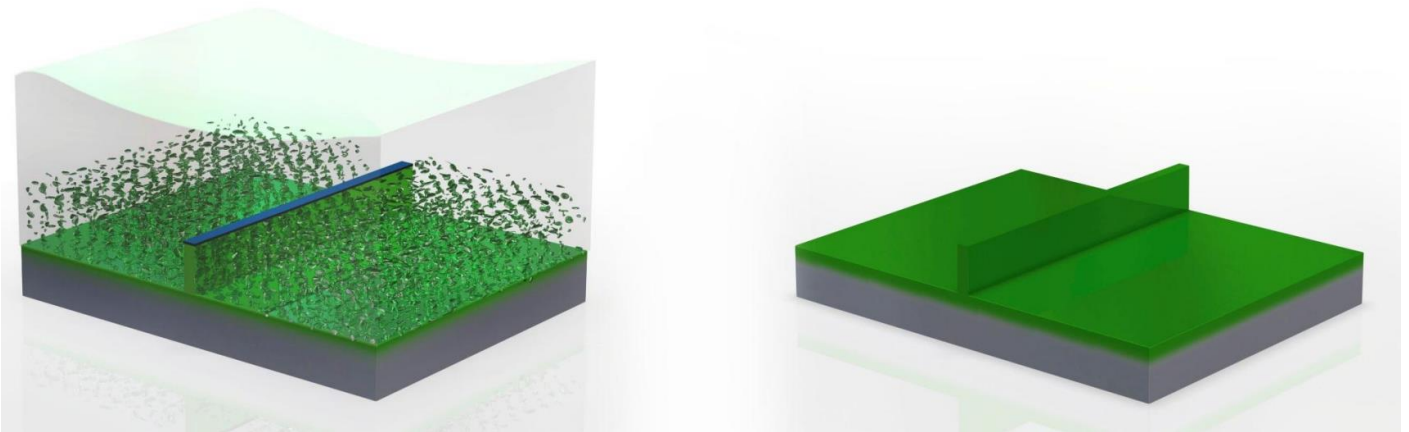
Fonte: (Intel Corporation, 2012)



### 3.2.5. Realizzazione del transistor

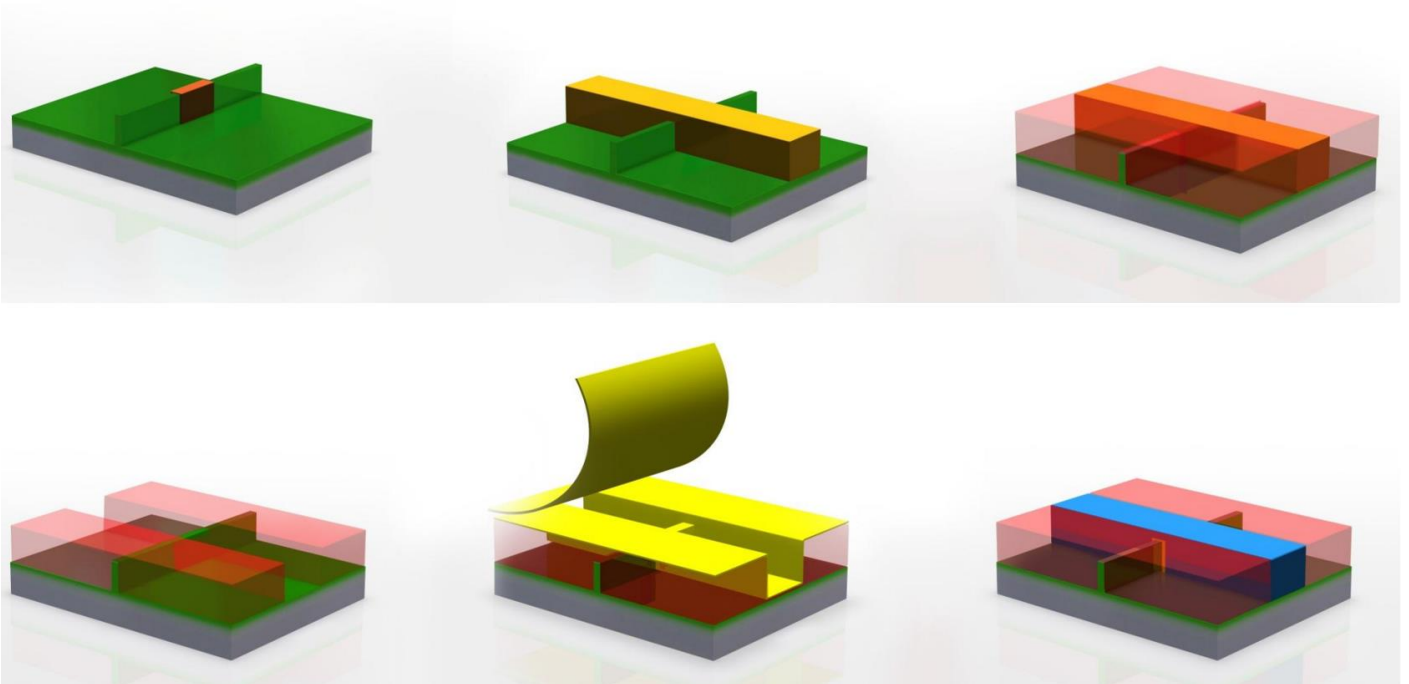
La realizzazione dei transistor avviene grazie alla combinazione di processi di litografia, deposizione di materiali e incisione tramite processi chimici. In particolare, per creare una struttura tridimensionale, dopo che con la fotolitografia vengono rimosse parti di fotoresistente secondo un preciso modello, vengono ripetutamente depositati degli strati di materiale che vengono successivamente rimossi solo in determinate aree. Quest'ultimo passaggio è chiamato incisione (*etch*) e avviene tramite processi chimici. Successivamente gli strumenti di pulizia rimuovono il materiale in eccesso prodotto dal processo di incisione. (Intel Corporation, 2012)

Figura 5 – Sulla sinistra la fase di incisione e sulla destra la rimozione del fotoresistente.



Fonte: (Intel Corporation, 2012)

Figura 6 – L'immagine seguente permette di osservare il susseguirsi di processi di litografia, deposizione di materiali e incisione tramite processi chimici necessari per la creazione di un transistor.

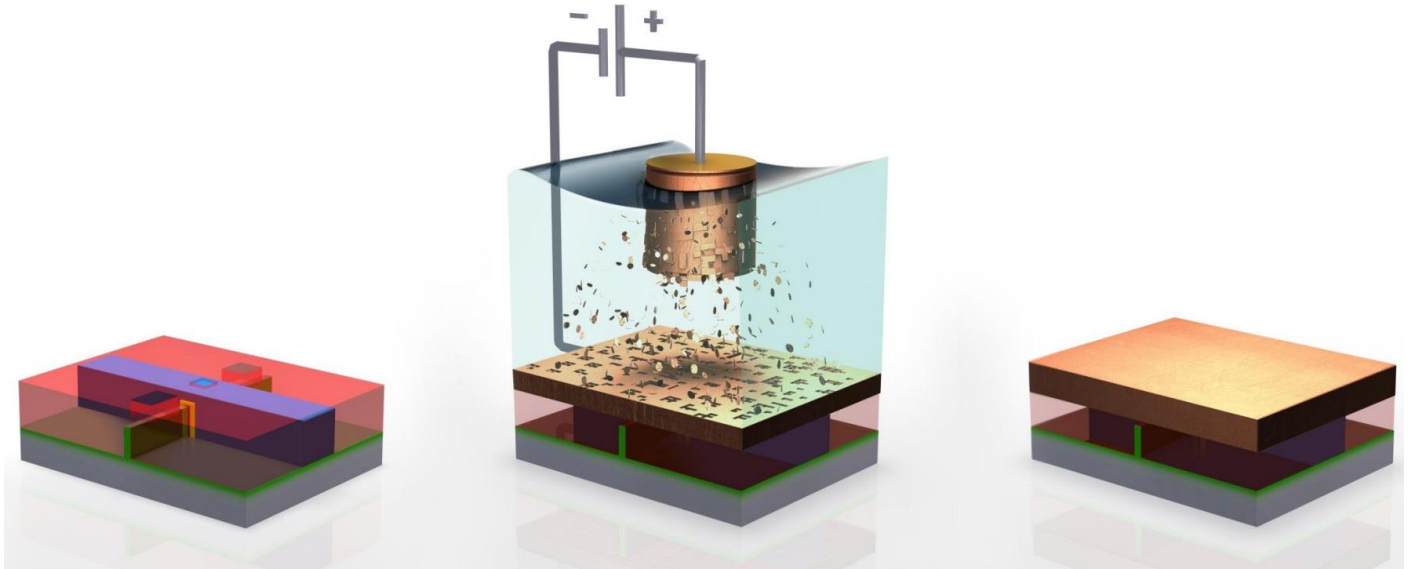


Fonte: (Intel Corporation, 2012)

### 3.2.6. Realizzazione delle connessioni

Arrivati a questo punto i transistor sono quasi completi ma è necessario fare in modo che possano essere collegati tra loro. Sono stati incisi tre fori nello strato isolante sopra il transistor. Questi fori saranno riempiti con del rame per permettere la connessione con altri transistor. Attraverso un processo noto come galvanotecnica i transistor vengono interamente ricoperti da un sottile strato di rame. (Intel Corporation, 2012)

Figura 7 – Da sinistra verso destra: il transistor quasi completo prima della galvanotecnica; il processo di galvanotecnica; il transistor dopo la galvanotecnica.

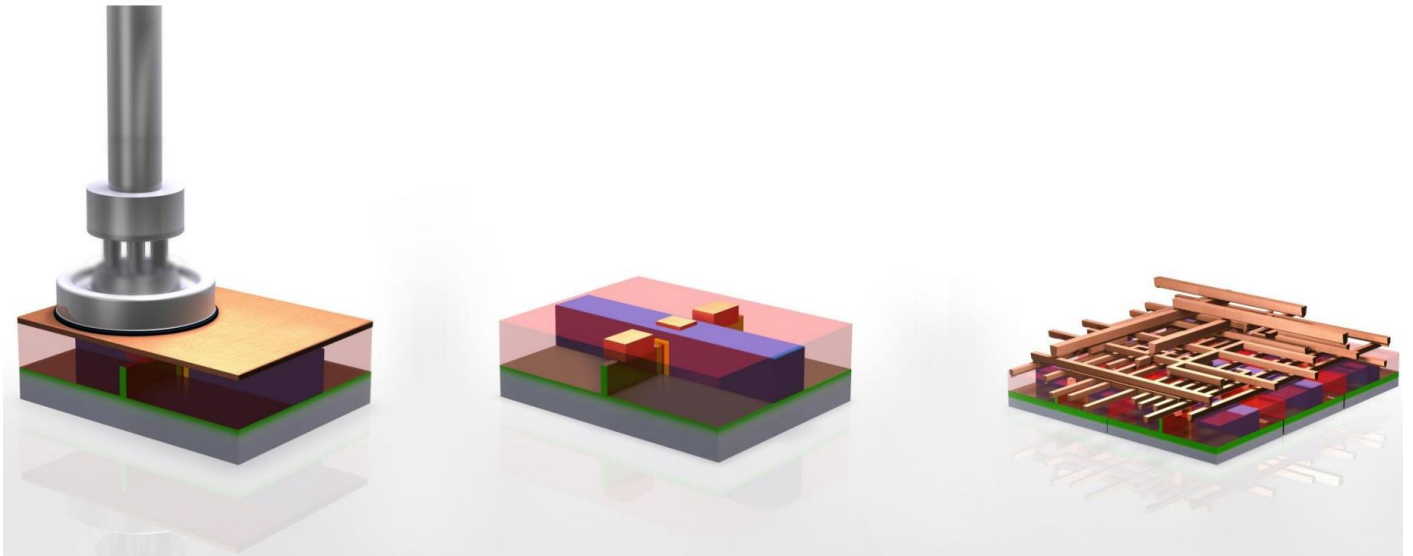


Fonte: (Intel Corporation, 2012)

### 3.2.7. Strati metallici

Successivamente attraverso un processo di pulizia il rame in eccesso viene rimosso meccanicamente per rivelare solo specifiche aree di rame. Strati metallici multipli vengono creati per connettere tra di loro tutti i transistor che compongono il chip. Il modo in cui vengono create queste connessioni viene determinato dai progettisti del chip. Sebbene i chips dei computer sembrano estremamente piatti, possono contenere più di 30 strati di circuiti. (Intel Corporation, 2012)

Figura 8 – Da sinistra verso destra: pulizia meccanica per la rimozione del rame in eccesso; transistor le sole tre aree di rame necessarie per la connessione; strati di connessione sopra i transistor.



Fonte: (Intel Corporation, 2012)

### 3.3. Assemblaggio, test ed imballaggio

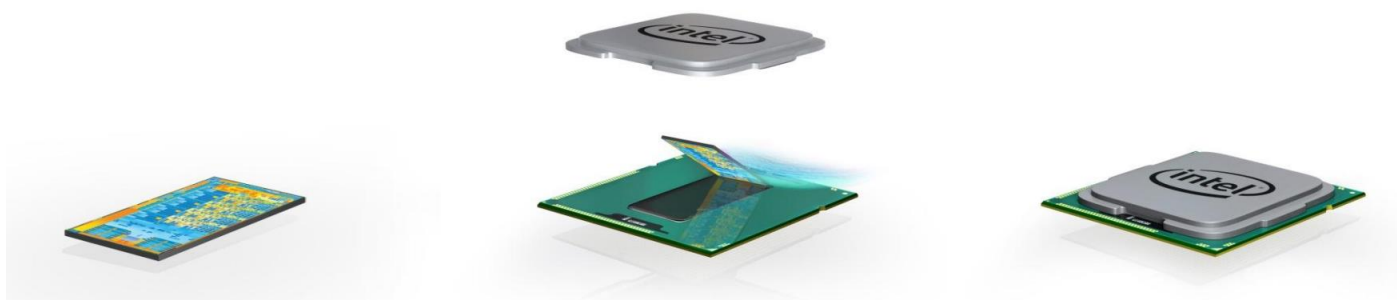
Quando il processo di costruzione del wafer è finito, i wafer vengono trasferiti in uno stabilimento di test, assemblaggio e imballaggio. Qui i wafer vengono prima testati interamente e successivamente tagliati in modo che ogni singolo chip possa essere di nuovo testato singolarmente, impacchettato e spedito. La fase di collaudo avviene grazie ad uno strumento che si muove sopra il wafer controllando ogni singolo chip mediante un test elettrico. I chips difettosi vengono segnalati e successivamente scartati. Il wafer viene tagliato dividendo ed isolando i singoli chips, i quali, se rispondono ai requisiti di progettazione, vengono inviati all'imballaggio. La fase successiva è l'assemblaggio, il chip viene assemblato con un substrato e con un diffusore di calore a formare il processore completo. Il substrato costituisce l'interfaccia elettrica e meccanica attraverso la quale il processore interagisce con la scheda madre. Il diffusore di calore color argento serve, insieme ad una ventola, a dissipare il calore. In seguito il microprocessore viene completamente testato nelle sue funzionalità, prestazioni e potenza. Infine, in base ai risultati ottenuti nel test, i processori con uguali capacità vengono messi insieme ed impacchettati per la spedizione. (Intel Corporation, 2012)

Figura 9 – Da sinistra verso destra: il wafer viene testato interamente; il wafer viene tagliato in pezzi chiamati dadi; i chip vengono selezionati in base al risultato del test.



Fonte: (Intel Corporation, 2012)

Figura 10 – Da sinistra verso destra: singolo dado prima dell'assemblaggio; assemblaggio; chip dopo l'assemblaggio.



Fonte: (Intel Corporation, 2012)

Figura 11 – Da sinistra verso destra: il chip viene nuovamente testato singolarmente; chip con le stesse caratteristiche vengono raggruppati; prodotto finito pronto per la consegna.



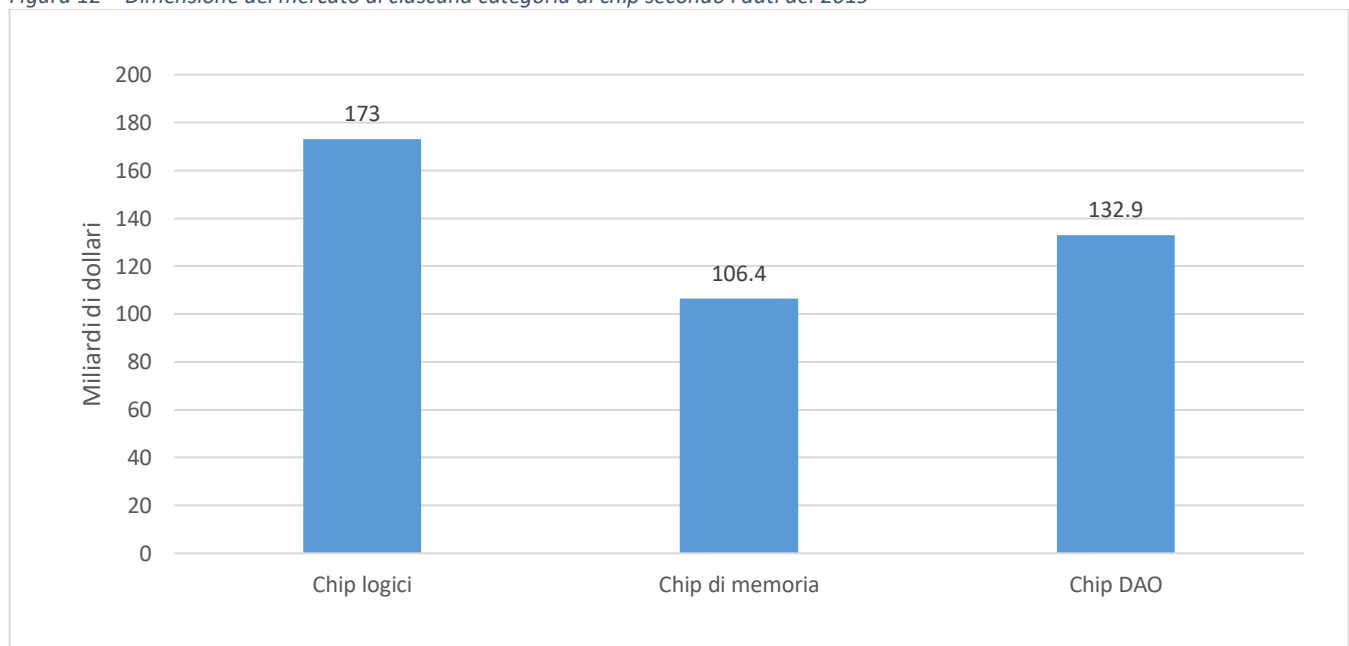
Fonte: (Intel Corporation, 2012)

# STRUTTURA

## 4. Differenziazione dei prodotti e diversificazione delle imprese

I chip sono prodotti altamente differenziati sia in base alle dimensioni che in base alla funzione che ricoprono. Esistono circa 30 tipi diversi di microchip che possono essere raggruppati in tre categorie principali: la prima categoria è quella dei chip logici, che sono i più diffusi, fanno parte della seconda categoria i chip di memoria e l'ultima è una categoria residuale che comprende chip discreti, analogici ed altro (anche detta *Discrete Analogic and Others* o *DAO*). Queste tre categorie di chip si differenziano anche per il processo produttivo necessario e di conseguenza per la struttura dei costi. Inoltre ciascuna categoria comprende chip che possono avere caratteristiche anche molto diverse a seconda del settore a cui sono destinati (per esempio all'interno della categoria DAO i chip per il settore automobilistico sono molto diversi dai chip per i macchinari industriali). Le imprese pertanto hanno solitamente un basso tasso di diversificazione, si concentrano piuttosto sulla produzione di un numero ristretto di chip diversi, facenti parte della stessa categoria. Nel seguente grafico è rappresentata la porzione di mercato che occupa ciascuna categoria.

Figura 12 - Dimensione del mercato di ciascuna categoria di chip secondo i dati del 2019



Fonte: rielaborazione dati WSTS (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

### 4.1. Chip logici

Sono i circuiti integrati basati sul codice binario, compongono le porte logiche che sono alla base di ogni programma (OR, AND, ecc). Sono i più diffusi, infatti rappresentano il 42% dei ricavi del settore. La produzione di questi chip, soprattutto quelli all'avanguardia, richiede costi fissi molto elevati e ingenti investimenti in ricerca, vengono prodotti solitamente da imprese poco integrate verticalmente. Grazie a questi chip si possono realizzare elementi fondamentali tra cui microprocessori, prodotti di logica generica,

microcontrollori e circuiti integrati per specifiche applicazioni. I microprocessori seguono istruzioni fisse presenti nella memoria per eseguire complesse operazioni di calcolo. Sono utilizzati per telefoni cellulari, PC, server, sistemi di intelligenza artificiale, e supercomputer. Tra i microprocessori si distinguono il processore centrale, noto anche come CPU (*central processing unit*), il processore grafico (*graphic processing unit - GPUs*) ed il processore di applicazione (*application processor - APs*). I prodotti di logica generica (noti anche come *Field-programmable gate arrays - FPGAs*) non contengono nessuna istruzione prefissata e consentono all'utente di programmare operazioni logiche personalizzate, sono usati anche per l'intelligenza artificiale. I microcontrollori (*microcontrollers - MCUs*) sono piccoli computer realizzati su un singolo chip contenenti uno o più processori, un'unità di memoria e porte di input e output programmabili. Sono usati per compiti di base in moltissimi prodotti elettronici tra cui le automobili e l'automazione. Infine i circuiti integrati per applicazioni specifiche (*application-specific integrated circuits - ASIC*) sono chip dedicati ad eseguire in modo veloce specifiche funzioni, come per esempio nell'ambito dell'intelligenza artificiale, ma hanno la peculiarità di poter essere utilizzati solo per un determinato scopo. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 9)

#### **4.2. Chip di memoria**

I chip di memoria sono utilizzati per lo stoccaggio di informazioni e rappresentano il 26% dei ricavi totali dell'industria. Questi chip richiedono un modesto livello di investimento in ricerca, rispetto ai chip logici, e sono prodotti anche da imprese verticalmente integrate. Si dividono in DRAM e NAND. I DRAM sono necessari in ogni strumento di calcolo per immagazzinare temporaneamente i dati che vengono processati. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 9) L'iPhone 11 per esempio ha un DRAM di 4GB, invece il computer più veloce del mondo ne ha uno di 4,866,048 GB (Kleinhans & Baisakova, 2020). I NAND invece non hanno bisogno di elettricità per funzionare e sono utilizzati per lo stoccaggio di informazioni permanenti. Le applicazioni tipiche includono le unità a stato solido (*SSD*), utilizzate come dischi rigidi per laptop, e schede digitali (*SD*) utilizzate nei dispositivi portatili. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 9)

#### **4.3. Chip discreto, analogici e altro (DAO)**

Questi chip ricevono, trasformano e trasmettono informazioni che trattano parametri continui. Rappresentano il 32% dei ricavi dell'industria e sono i chip che richiedono minori sforzi di miniaturizzazione e ricerca, richiedono minori costi fissi pertanto sono prodotti solitamente da imprese verticalmente integrate. I discreti sono prodotti che includono diodi e transistori in grado di compiere una singola funzione elettrica. I chip analogici includono regolatori di tensione e convertitori di dati che traducono segnali analogici, come la voce, in segnali digitali, e sono in grado anche di ricevere e trasmettere i segnali radio. Altri prodotti sono quelli di optoelettronica, come sensori ottici per rilevare la luce utilizzata nelle telecamere, oltre a un'ampia varietà di sensori e attuatori non ottici che possono essere trovati in tutti i tipi di dispositivi internet delle cose. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 9)

## 5. La dimensione

La dimensione è un aspetto fondamentale per i chip. In particolare, con la riduzione delle dimensioni aumentano alcune prestazioni, di conseguenza spesso i chip più piccoli sono quelli che hanno migliori prestazioni. I chip vengono confrontati in base alla dimensione dei nodi che li costituiscono. Il processo di miniaturizzazione ha seguito le previsioni che Gordon Moore, cofondatore di Intel, fece nel 1965: “il numero di transistor, delle resistenze e dei condensatori nei circuiti integrati (indice della potenza del circuito integrato) raddoppia ogni 18 mesi”. Questo enunciato è noto come prima legge di Moore. Al giorno d’oggi i chip di ultima generazione sono quelli da 7nm e 5nm, si prevede che quelli da 3 nm saranno messi in commercio nel 2023 e che nel 2030 si raggiungerà la dimensione di un nanometro, che rappresenterebbe il limite fisico, raggiunto il quale la miniaturizzazione non sarà più possibile. La ricerca e la produzione di chip con dimensioni minori richiedono costi medi unitari molto alti, pertanto la produzione può essere sostenuta solo grazie a volumi molto elevati che permettano lo sfruttamento di economie di scala. Nonostante siano i più avanzati, i chip con dimensioni inferiori di 10nm rappresentano solo il 2% della produzione mondiale. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 9) La dimensione, infatti, non è sempre la caratteristica principale, per esempio i chip che devono tollerare livelli di tensione molto alta, noti come i chip di potenza, o i sensori, non possono avere dimensioni molto ridotte. Pertanto questi chip sono di solito meno costosi da produrre e richiedono meno investimenti in ricerca. Questo tipo di chip, anche se meno avanzati tecnologicamente, sono fondamentali in molti settori. Per esempio nel settore automotive sono usati principalmente chip tra i 90nm e i 28nm.

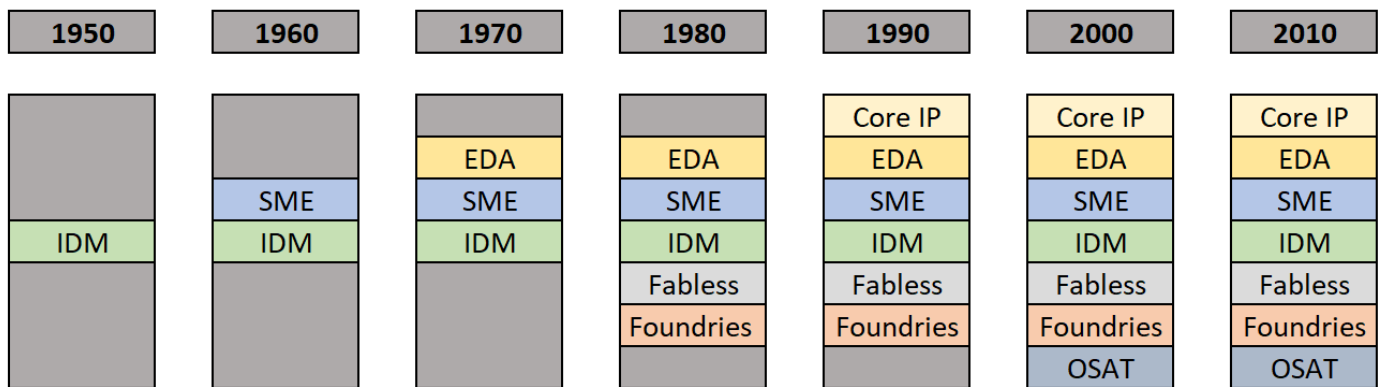
## 6. Integrazione verticale

Le prime imprese di semiconduttori, nate intorno al 1960, erano molto integrate verticalmente, si occupavano quindi di quasi tutto il processo produttivo. Successivamente, grazie a fattori tecnologici e di mercato, hanno avuto successo modelli di business più specializzati verticalmente. In particolare, i maggiori costi legati alla complessità del processo produttivo e la necessità di ingenti investimenti in ricerca, hanno contribuito ad aumentare la dimensione ottima minima. Sono infatti necessari grandi volumi per poter sfruttare le economie di scala e ridurre i costi medi unitari. Le imprese quindi scelgono di specializzarsi, in questo modo a parità di dimensione, possono aumentare i volumi. Questa tendenza alla specializzazione è stata possibile, e necessaria, grazie all’aumento della dimensione del mercato. La maggior specializzazione verticale si verifica soprattutto nei segmenti caratterizzati da un’alta intensità di capitale, in cui la dimensione ottima minima è elevata rispetto alle dimensioni del mercato e la concentrazione è alta.

Come si discuterà in seguito le imprese verticalmente integrate (*Integrated device manufacturer – IDM*) sono più diffuse nei segmenti con una minore tendenza all’innovazione, che richiedono quindi processi produttivi meno complessi e minori investimenti in ricerca e sviluppo. Le imprese specializzate verticalmente sono le

*fabless*, specializzate nel design, le *foundries*, specializzate nella manifattura e le imprese specializzate nella fase di assemblaggio, test e imballaggio, chiamate *OSAT* (*outsourced assembly and test*). A queste si aggiungono altre tre categorie di imprese che verranno analizzate meglio in seguito, ovvero le imprese fornitrici di strumenti di design ovvero le *EDA* (*Electronic design automation*) e le *Core IP* (*Core Intellectual Properties*), le imprese fornitrici di macchinari (*Semiconductor Manufacturing Equipment – SME*) e le imprese fornitrici di materiali. Verranno ora analizzati nel dettaglio i quattro modelli di business legati alla produzione. Nel seguente grafico è possibile osservare il progressivo aumento della specializzazione verticale che ha caratterizzato il settore dagli anni '50 ad oggi.

Figura 13 - Diminuzione del grado di integrazione verticale



Fonte: (Togt, Fischer, & Winnink, 2016)

## 6.1. IDM

Le imprese integrate verticalmente ricoprono tutte le fasi del processo produttivo e gran parte dei passaggi necessari per la realizzazione dei chip. Hanno comunque bisogno di rivolgersi a partner esterni per forniture o passaggi specifici. In particolare negli ultimi anni hanno preso piede imprese integrate verticalmente dette *fablite* le quali si rivolgono a partner esterni per alcune fasi della fabbricazione e dell'assemblaggio. Un esempio noto di impresa integrata verticalmente di tipo *fablite* è la italo-francese STmicroelectronics. Le IDM si occupano prevalentemente di chip di memoria o chip appartenenti alla categoria DAO. Questi due tipi di chip, a differenza di quelli logici, hanno requisiti di miniaturizzazione meno stringenti e dunque costi meno elevati. Per esempio i DRAM sono prodotti esclusivamente da IDM ed il settore è altamente concentrato, infatti tra il 2005 e il 2019 insieme alla dimensione del mercato è cresciuta anche la concentrazione. In particolare nel 2005 il mercato aveva un volume di 25 miliardi di dollari e le 8 maggiori imprese controllavano il 97% della produzione, nel 2019 invece il valore del mercato è aumentato a 62,3 miliardi di dollari ed il 95% dei ricavi è stato prodotto da sole tre imprese. Anche i chip NAND sono prodotti principalmente da IDM, ma in questo caso la concentrazione è più bassa e la dimensione del mercato misurava 46 miliardi di dollari nel 2020 (Kleinhans & Baisakova, 2020).



## 6.2. Fabless

Le imprese dette fabless, ovvero senza fabbrica, si occupano della fase di design. Il loro business è ad alta intensità di conoscenza infatti investono molto in ricerca e sviluppo per sostenere la rapida innovazione tecnologica del settore. In particolare per queste imprese la percentuale dei ricavi destinati alla ricerca e allo sviluppo è stata del 20% nel triennio tra il 2016 e il 2019, ovvero sono responsabili della metà degli investimenti in ricerca e sviluppo dell'intera industria. Secondo la BCG il segmento del design è anche il segmento a maggior valore aggiunto. Negli ultimi anni alcuni grandi colossi tecnologici, che rappresentano i maggiori acquirenti di chip, come Tesla e Apple, hanno sviluppato le proprie fabless in modo da poter progettare direttamente i propri chip. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021)

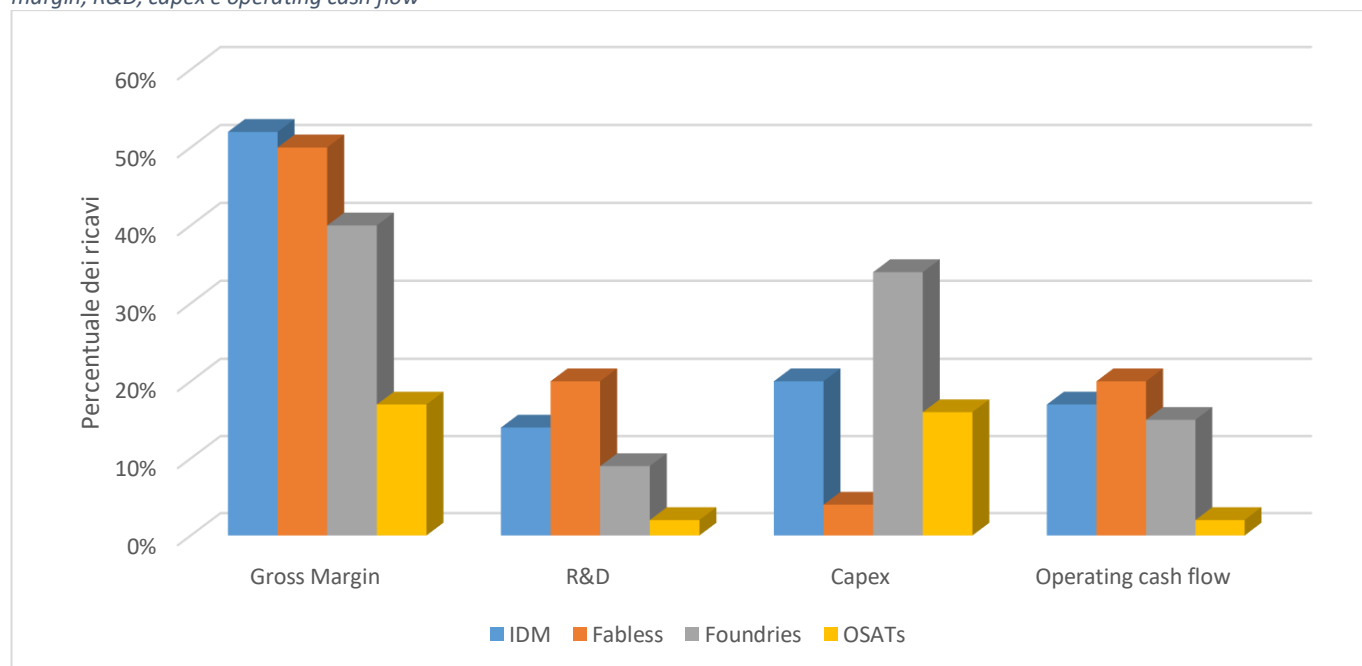
## 6.3. Foundry

Le fabbriche (*foundry*) si occupano della produzione dei chip per conto di terzi. Il loro business è caratterizzato dall'alta intensità di capitali, specialmente per i chip più all'avanguardia: il colosso taiwanese TSMC ha dichiarato che ci vorranno 19,5 miliardi di dollari per costruire una nuova fabbrica di chip da 3 nm. Le grandi dimensioni sono fondamentali per sfruttare le economie di scala ma anche per poter diversificare il rischio producendo diversi tipi di chip. Le foundry, a differenza delle imprese verticalmente integrate, sono in grado di sostenere il costo delle tecnologie di ultima generazione: al momento sono responsabili del 78% della produzione di chip con nodi da 60nm a 14nm e il 100% della produzione di chip di ultima generazione (5/7 nm). (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021)

## 6.4. OSAT

Le imprese dette OSATs si occupano dell'ultima fase del processo produttivo che comprende la fase di test, assemblaggio e imballaggio. Nonostante anche questo segmento necessiti di tecnologie avanzate, è quello con un'intensità di conoscenza più bassa. Richiede invece una maggiore intensità di forza di lavoro. Nel seguente grafico vengono messi a confronto i quattro modelli di business, secondo quattro indicatori ovvero margine lordo (gross margin), attività di ricerca e sviluppo, spese in conto capitale e flusso di cassa operativo, tutti valutati in percentuale rispetto ai ricavi, secondo i dati del 2019.

Figura 14 – I quattro modelli di business (IDM, Fabless, Foundries e OSAT) vengono messi a confronto in base alla percentuale di ricavi di gross margin, R&D, capex e operating cash flow

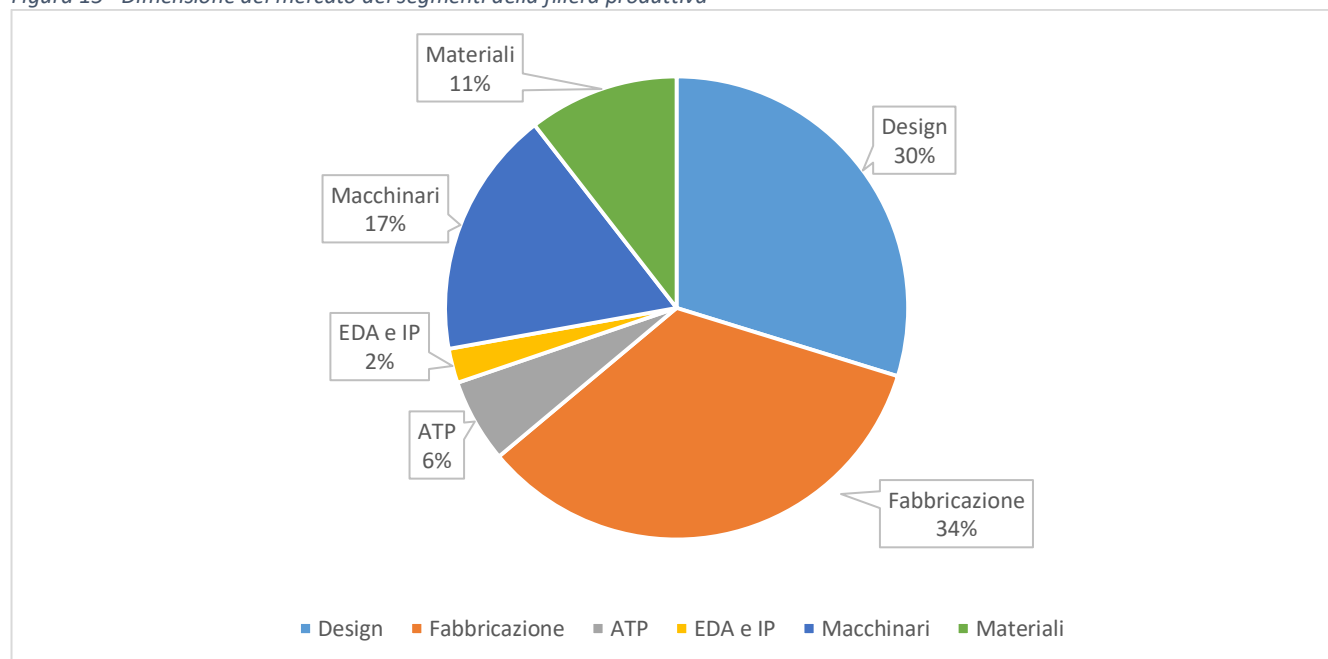


Fonte: BCG (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021, p. 23-26)

## 7. Distribuzione geografica

Come emerge dall'analisi fin qui svolta, l'industria dei semiconduttori è estremamente complessa, la produzione di un singolo chip richiede infatti più di mille passaggi. In questo capitolo verrà aggiunta al discorso la dimensione della distribuzione geografica che non fa parte del paradigma di Scherer ma è ritenuta fondamentale per lo studio del settore. Il settore dei semiconduttori è caratterizzato da una forte concentrazione geografica, in particolare l'intera filiera produttiva è controllata virtualmente da 5 stati, ovvero Stati Uniti, Corea del Sud, Giappone, Taiwan e Cina, ai quali si aggiunge l'Europa. In un mondo fortemente globalizzato, le imprese sono libere di scegliere dove posizionarsi e prendono questa decisione in base a diversi fattori tra cui la solidità dell'infrastruttura, l'efficienza del sistema di trasporti, la disciplina sugli aiuti di stato ed infine la stabilità economico-politica, indispensabile per contenere il rischio di investimenti alti e con un periodo di ritorno piuttosto lungo. Per facilitare l'analisi sulla distribuzione geografica si può dividere la filiera produttiva in 6 categorie: le tre categorie legate alle fasi di produzione, ovvero design, fabbricazione e assemblaggio, test e imballaggio, alle quali aggiungiamo la categoria legata al design che comprende EDA e IP, la categoria dei macchinari e quella dei materiali. Nel seguente grafico è possibile osservare la porzione del mercato occupata da ciascuna categoria. Verranno utilizzati i dati della dimensione del mercato in base al fatturato del 2019 forniti da CSET (CENTER for SECURITY and EMERGING TECHNOLOGY). Inoltre per allocare le imprese in ciascuna nazione si utilizzerà come criterio la sede principale di ciascuna impresa. Il penultimo sotto capitolo è dedicato alla distribuzione della ricerca e l'ultimo è un focus sulle imprese italiane.

Figura 15 - Dimensione del mercato dei segmenti della filiera produttiva

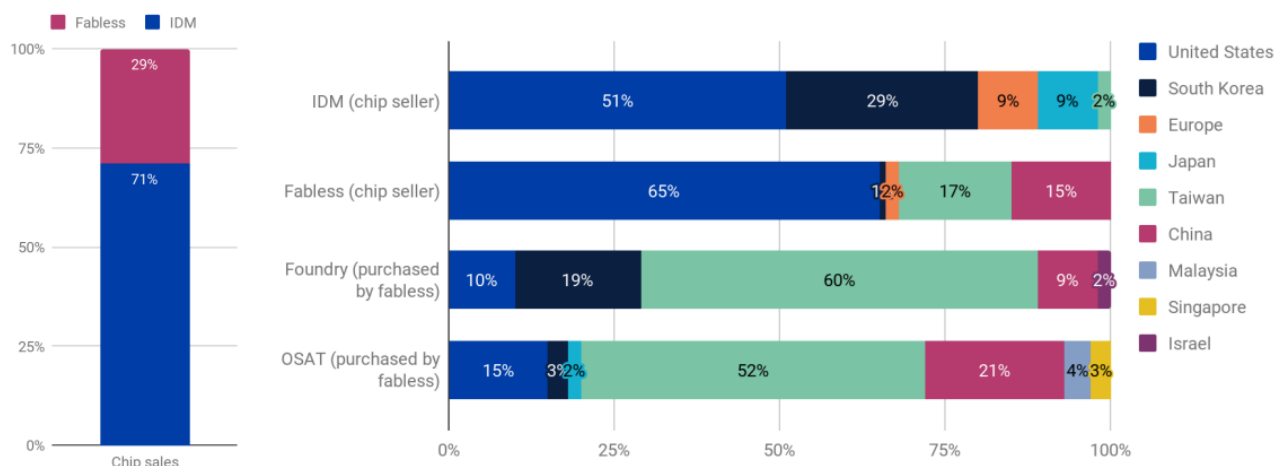


Fonte: rielaborazione dei dati forniti da CSET (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

## 7.1. Produzione

Per quanto riguarda la produzione, ci si concentrerà innanzi tutto sulla distribuzione delle imprese secondo i quattro modelli di business analizzati nel capitolo sull'integrazione verticale. In primo luogo si osserva che tra le IDM, il 51% dei ricavi è prodotto da imprese con sede principale negli Stati Uniti, seguite da quelle con sede principale in Corea del Sud con il 29%. L'Europa raggiunge il 9% insieme al Giappone. Gli Stati Uniti dominano anche e soprattutto il settore delle fables con il 65% dei ricavi, seguiti da Taiwan e Cina rispettivamente con il 17% e il 15%. L'Europa ha solo il 2% in questo ambito. Per quanto riguarda fonderie e OSAT gli Stati Uniti perdono campo a favore del Taiwan che ha rispettivamente il 60% e il 52% dei ricavi. La Cina raggiunge una posizione rilevante solo nelle OSAT con il 21% dei ricavi. L'Europa invece non ha quote rilevanti né nelle fonderie né nelle OSAT. (Khan, Mann, & Peterson, 2021) Di seguito l'analisi di ciascuna categoria.

Figura 16 – Il grafico a sinistra illustra la percentuale di ricavi generata dalla vendita dei chip da parte imprese con modello di business IDM o fables; il grafico a destra mostra come sono distribuite globalmente le imprese in base ai quattro modelli di business (IDM, fables, foundry, OSAT) in base ai ricavi ottenuti dalla vendita di chip.



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.1.1. Design

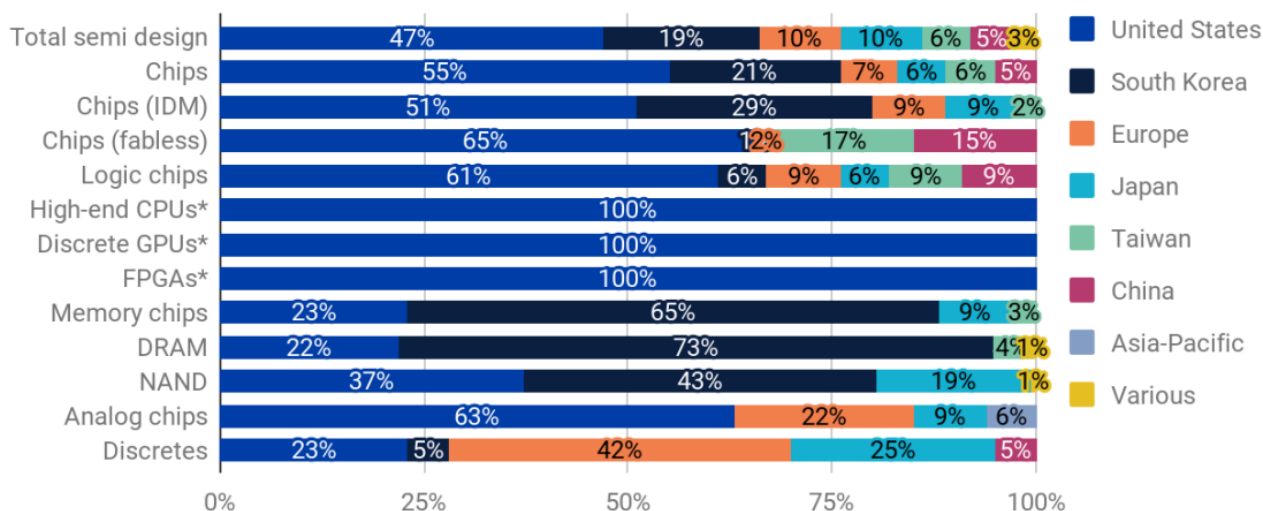
La fase del design influisce sui ricavi del settore con una percentuale che si avvicina al 30% con ricavi di 132.3 miliardi di dollari. Entrando nel dettaglio, i ricavi generati dal design provengono per il 97% da 5 stati: Stati Uniti con il 47%, Corea del Sud con il 19%, Giappone con il 10%, Taiwan con il 6% e Cina con il 5%, ai quali si aggiunge l'Europa con il 10%.

In particolare i ricavi dovuti alla progettazione di chip logici sono originati per 61% da imprese con sede principale negli Stati Uniti, le cui imprese principali sono Intel (U.S.), AMD (U.S.) e Nvidia (U.S.), ma sono da considerare anche Google (U.S.) e Tesla (U.S.). Di seguito si posizionano Europa, Taiwan e Cina ciascuna con il 9% e Corea del Sud e Giappone entrambe con il 6%. È importante sottolineare che quasi il 100% delle imprese che si occupano di design di chip logici di ultima generazione abbiano la sede principale negli Stati Uniti. La Cina invece sta crescendo sul design di chip dedicati all'intelligenza artificiale, un settore di nicchia, con modeste difficoltà progettuali, ma con un buon potenziale. Tra il 2017 e il 2019 la maggior parte degli investimenti di venture capital dedicati alle startup riconducibili alla categoria fables si sono rivolti a questo segmento.

I chip di memoria hanno un livello di commoditizzazione più alto e sono più facili da produrre, di conseguenza la competizione avviene spesso sul prezzo. Il dominio è della Corea del Sud con 65% dei ricavi generati principalmente da Samsung (South Korea) e SK Hynix (South Korea). Seguono gli Stati Uniti con il 23% dei ricavi, generati principalmente da Western Digital (U.S.), Micron (U.S.) e Intel (U.S.). Di seguito si posizionano il Giappone con il 9%, la cui impresa principale è Toshiba (Japan), e il Taiwan (3%) con Nanya (Taiwan), Winbond (Taiwan) e Powerchip (Taiwan). Non è rilevante la posizione europea.

Per quanto riguarda i chip analogici sale di posizione l'Europa (22%) raggiungendo il secondo posto dietro agli Stati Uniti con il 63%. Segue il Giappone con il 9%. L'Europa acquisisce un ruolo primario nel design di chip discreti con il 42% dei ricavi. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 17 – Distribuzione globale dei ricavi generati dal design di chip, per ogni tipo di chip.



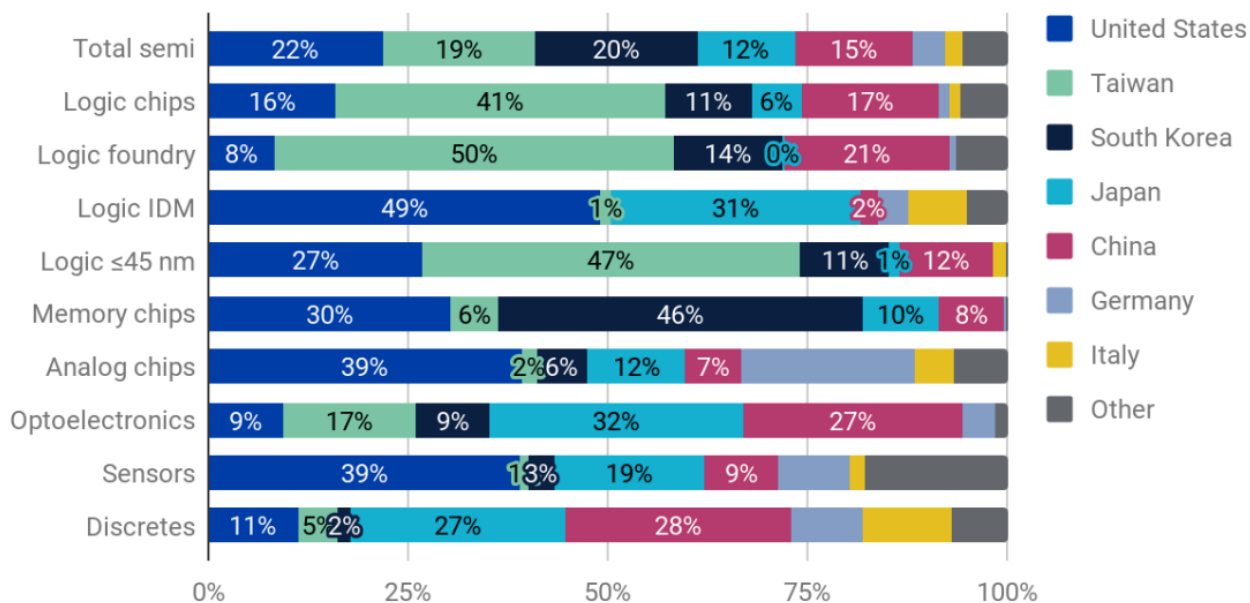
Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.1.2. Fabbricazione

La fabbricazione tra le categorie analizzate è quella che genera la maggior porzione di ricavi, con una percentuale del 34,1% sul totale ed un valore assoluto di 151.8 miliardi di dollari. Analizzando i ricavi ottenuti in base alla posizione della sede centrale dell'impresa, si nota che Stati Uniti, Taiwan e Corea del Sud si assestano intorno ad una percentuale del 20%, seguiti da Cina e Giappone. Il settore è molto concentrato, infatti 5 paesi generano l'88% dei ricavi globali. Anche l'Italia entra in questa classifica con un valore di circa il 2%. Andando più nel dettaglio si nota che la produzione dei chip logici è dominata dal Taiwan (41%) il quale rafforza ulteriormente la sua posizione nei chip di dimensioni minori di 45nm (47%). Inoltre 3 imprese, ovvero Intel (U.S.), TSMC (Taiwan) e Samsung (South Korea), detengono quasi l'intera capacità produttiva di chip di dimensioni inferiori a 10nm. La cinese SMIC ha avviato la produzione di 14nm ma ha una capacità produttiva di soli 6000 wafer al mese, ovvero lo 0,2 % del fabbisogno mondiale di chip minori di 16nm. L'intera capacità produttiva di chip di ultima generazione (5nm) è in mano alla taiwanese TSMC. Anche Samsung sta provando a introdurli, cercando di intaccare il dominio di TSMC. Intel invece è ferma a chip di 10nm. È importante sottolineare che secondo alcuni esperti i chip da 10nm di Intel hanno le stesse capacità dei chip di 7nm della TSMC, per cui lo svantaggio di Intel sarebbe minore di ciò che sembra all'apparenza. I ricavi derivanti dalla produzione di chip di memoria sono generati per il 46% da imprese con sede centrale in Corea del Sud. L'Italia ha circa il 5% dei ricavi dovuti alla produzione di chip analogici e circa il 12% di quelli dovuti alla produzione di chip discreti.

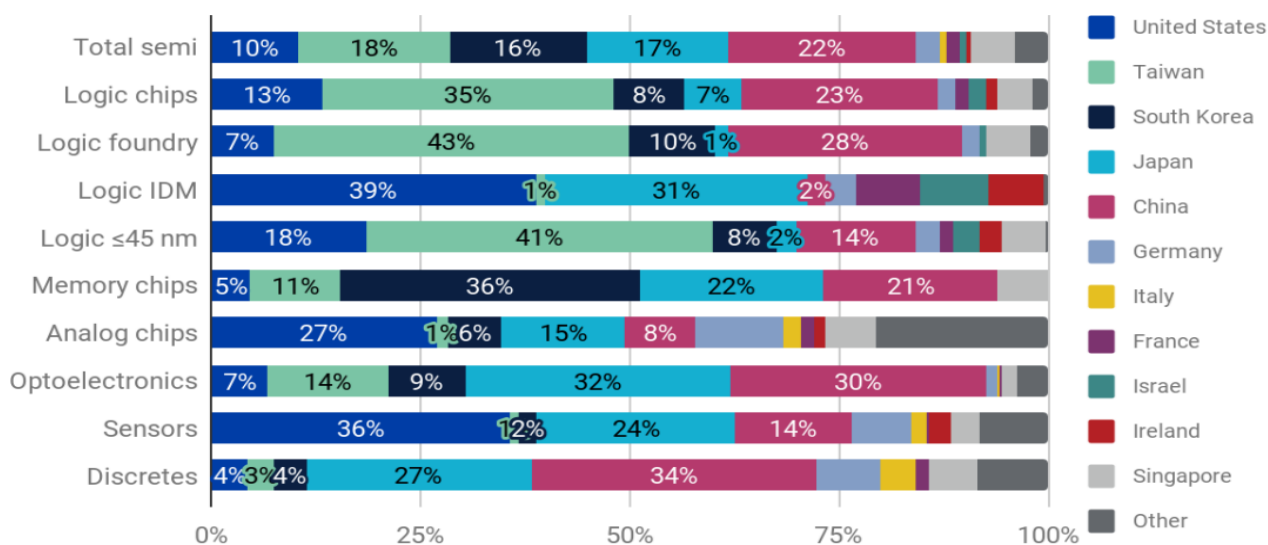
Spostando l'attenzione non più sulla posizione delle sedi centrali, ma sulla locazione delle fabbriche si nota che la Cina acquisisce una posizione più rilevante a scapito principalmente degli Stati Uniti. Si intuisce quindi che diverse imprese abbiano interesse a posizionare la propria sede principale negli Stati Uniti ma che decidano di delocalizzare la produzione in Cina. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 18 – Distribuzione globale dei ricavi generati dalla fabbricazioni di chip, per ogni tipo di chip.



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2020

Figura 19 – Distribuzione globale della capacità produttiva in base al tipo di chip fabbricati



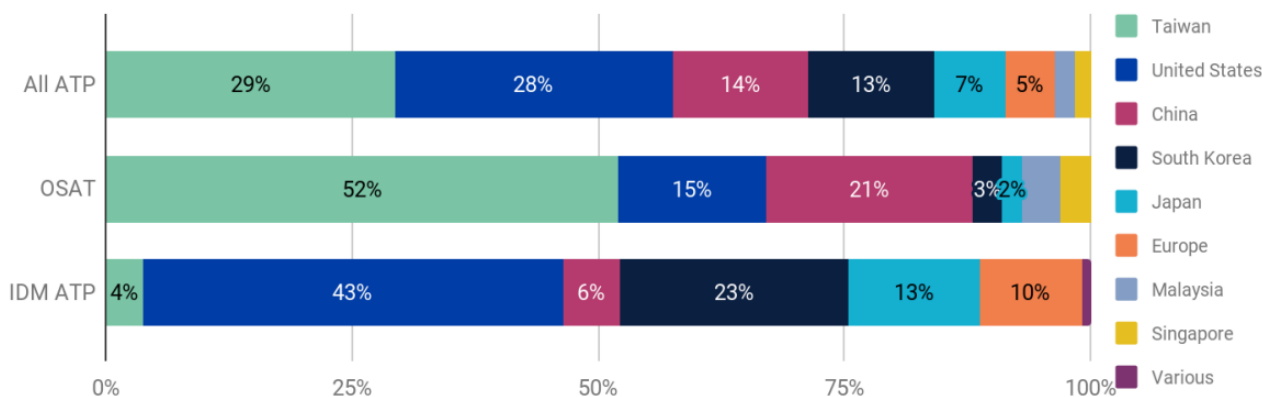
Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2020

### 7.1.3. Assemblaggio, test e imballaggio

Infine la fase di assemblaggio, test e imballaggio genera una modesta porzione di ricavi, con una percentuale del 5.8% ed un valore assoluto di 26 miliardi di dollari. Le sedi principali delle imprese operanti in questo settore sono collocate principalmente in Taiwan e negli Stati Uniti. In particolare le imprese con sede principale in Taiwan generano il 29% dei ricavi e le più importanti sono ASE (Taiwan) Powertech (Taiwan) TSMC (Taiwan). Le imprese con sede principale negli Stati Uniti generano il 28% dei ricavi e le più importanti sono Amkor (U.S.), Intel (U.S.), Micron (U.S.). Seguono le imprese con sede principale in Cina (14%) tra cui

JCET (China), TongFu (China), Tianshui (China), e quelle con sede principale in Corea del Sud (13%) tra cui Samsung, S.K. Hynix (South Korea). Nonostante ciò, in questo ambito la Cina acquisisce un ruolo più importante rispetto agli altri settori raggiungendo il 22% della capacità produttiva totale. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 20 – Distribuzione globale del fatturato delle imprese di assemblaggio, test e imballaggio.

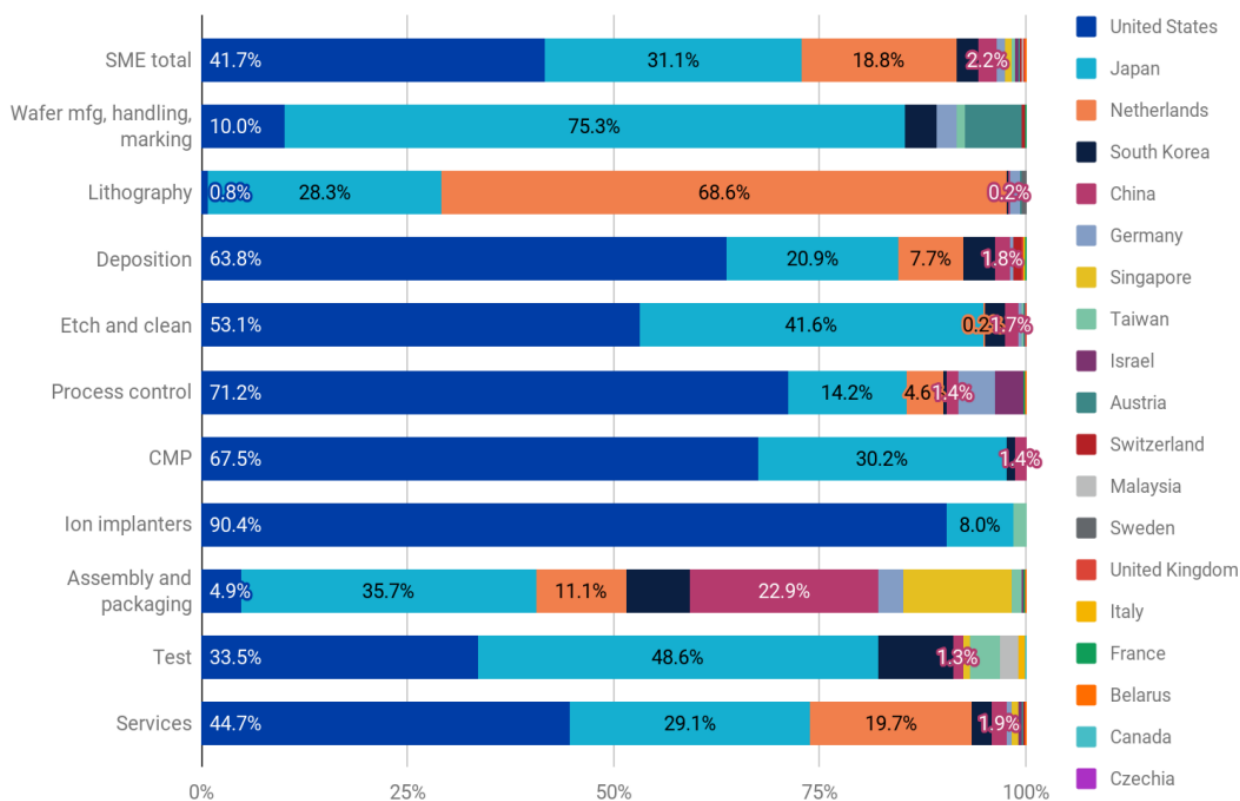


Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

## 7.2. Attrezzature per la produzione di semiconduttori (*Semiconductor Manufacturing Equipment – SME*)

Vengono utilizzati strumenti diversi per completare ognuno dei molti passaggi necessari per la produzione di un chip. L'approvvigionamento di queste attrezzature risulta un punto fondamentale per la filiera produttiva dei semiconduttori. Come si può osservare dal grafico la filiera è dominata da imprese che hanno la loro sede centrale negli Stati Uniti, in Giappone o nei Paesi Bassi. La particolarità di questo settore è che ci sono molti colli di bottiglia dovuti alla forte concentrazione, alcuni di questi strumenti sono prodotti per la maggior parte, o addirittura in esclusiva in un solo stato o da una sola impresa. Inoltre diverse attrezzature risultano indispensabili nonostante abbiano una dimensione di mercato che ricopre una porzione molto piccola del totale. Le imprese operanti in questo settore hanno anche una discreta spesa annua in ricerca e sviluppo che si aggira tra il 10% e il 15% del fatturato. Il valore di mercato complessivo degli strumenti necessari per l'industria dei semiconduttori è di 77 miliardi di dollari, ovvero il 20,7% del mercato totale, di cui 66,4 miliardi dollari per gli strumenti necessari nella fase di fabbricazione e 10.6 miliardi di dollari per quelli necessari nella fase di ATI. Vediamo ora nel dettaglio ciascuna categoria di strumenti. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 21 – Distribuzione globale delle imprese che producono attrezzature per la produzione di semiconduttori in base al fatturato.



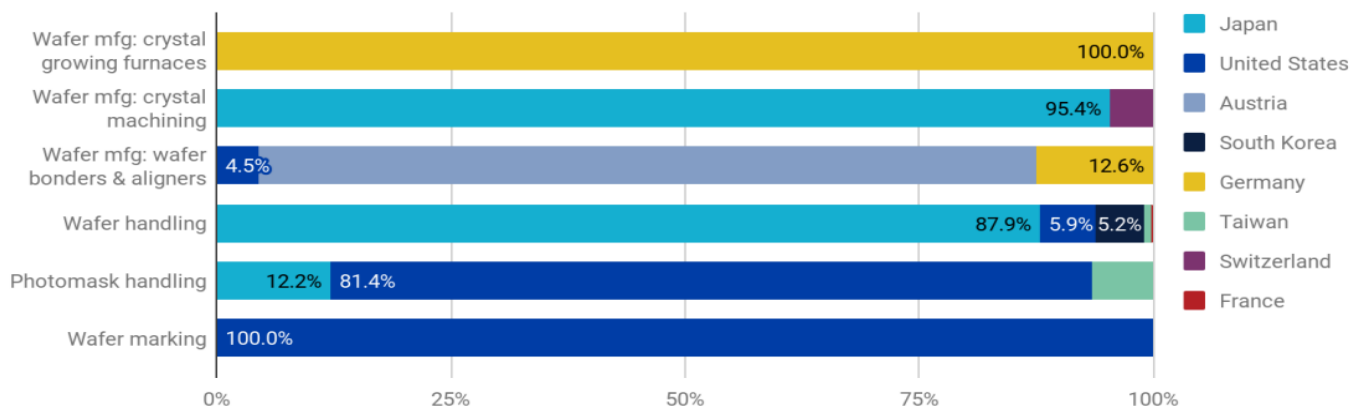
Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.2.1. Produzione e manipolazione dei wafer (*Wafer Manufacturing, and Handling*)

Questo settore ha una dimensione di mercato modesta, che nel 2019 misurava 1,7 miliardi di dollari. Sono presenti numerosi colli di bottiglia ma ciò non rappresenta un vero e proprio vantaggio competitivo in quanto è un segmento che ha un modesto livello tecnologico. Rilevante la posizione del Giappone che ha quasi il 90% della produzione di macchinari per il trasporto dei wafer (wafer handling), il cui mercato ha una dimensione di 1.3 miliardi di dollari. Le principali imprese sono Daifuku (Japan), Rorze (Japan), Muratec (Japan). La Germania grazie a PVA TePla ha una posizione di dominio nella produzione di forni per la produzione di lingotti di silicio chiamati forni per la crescita del cristallo. (I lingotti sono infatti continuo ed ininterrotto reticolo cristallino di forma cilindrica.) Per quanto riguarda il taglio dei lingotti (crystal machining), mercato che vale 110 milioni di dollari, le aziende principali sono Accretech (Japan), Okamoto (Japan), Disco (Japan), Meyer Burger (Switzerland), Toyo (Japan). L'Austria è leader nei macchinari per l'allineamento dei wafer grazie a EV Group, altre due aziende importanti in questo campo sono SUSS MicroTec (Germany), Neutronix (U.S.), l'allineamento è una pratica necessaria per assicurare precisione nel taglio e nella lavorazione dei wafer e ha una dimensione di mercato di 140 milioni di dollari. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)



Figura 22 – Distribuzione globale delle imprese che si occupano di produzione e manipolazione dei wafer in base al fatturato.

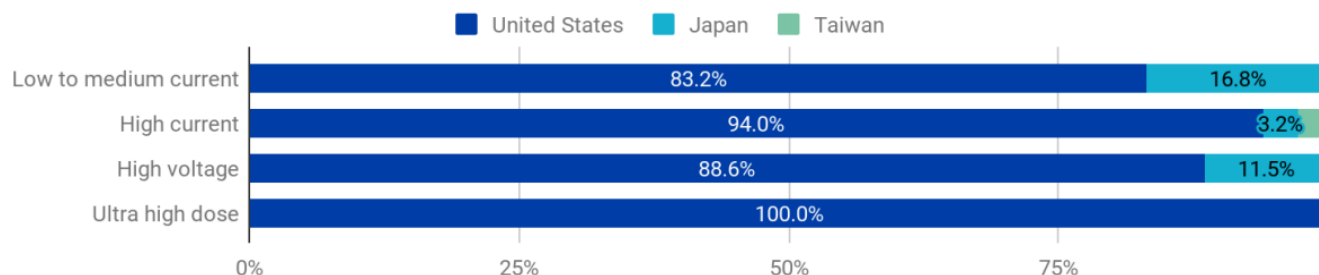


Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.2.2. Impiantatori ionici (*Ion Implanters*)

La produzione di impiantatori ionici, necessari per il drogaggio dei wafer, ha un mercato di 1 miliardo di dollari, che è quasi interamente coperto da imprese con sede centrale negli Stati Uniti. Le più importanti sono Applied Materials (U.S.) Nissin Ion (U.S.) e Axcelis (U.S.). (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 23 – Distribuzione globale delle imprese che producono impiantatori ionici in base al fatturato.



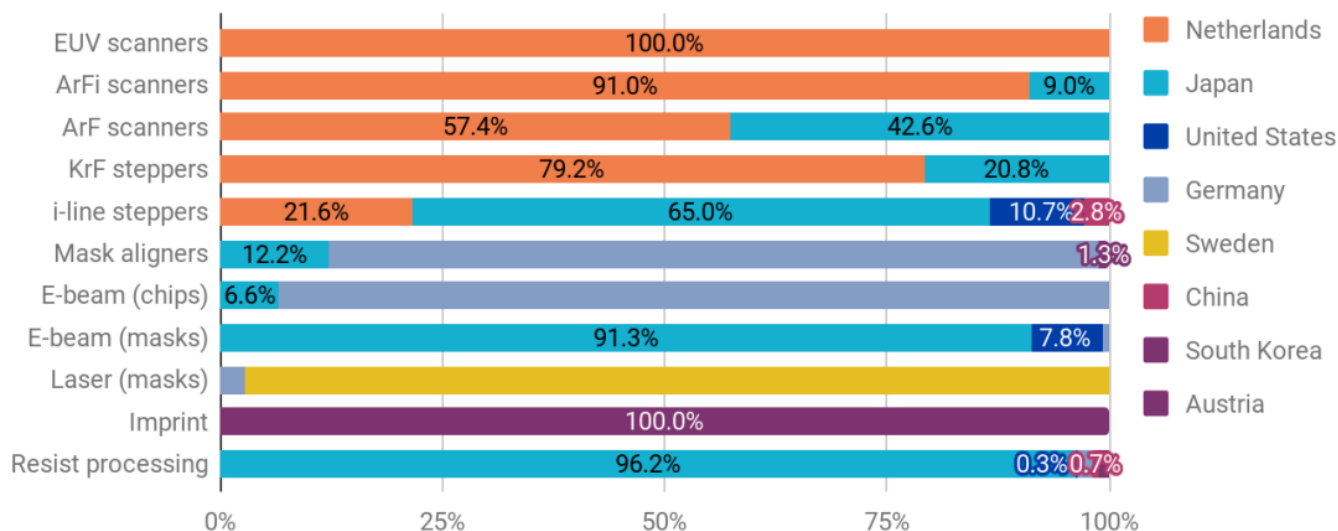
Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.2.3. Litografia (*Lithography*)

Il mercato degli strumenti di litografia è un nodo fondamentale per la filiera produttiva, sia per la dimensione di 14,2 miliardi di dollari, ma anche e soprattutto per il forte contributo che dà allo sviluppo tecnologico dell'intero settore. Questo mercato è dominato da imprese con sede principale nei Paesi Bassi e in Giappone. In particolare l'impresa olandese ASML è l'unica in grado di produrre strumenti di litografia ultravioletta estrema (*Extreme ultraviolet lithography – EUV*), avanzatissimi macchinari strettamente necessari per la produzione di massa di chip di 5nm, il mercato di questi macchinari conta 3,1 miliardi di dollari ed un singolo macchinario EUV costa intorno ai 150 milioni di dollari. Inoltre l'olandese ASML e la giapponese Nikon (anche se con una partecipazione minore), detengono la quasi totalità della capacità produttiva mondiale di arfi scanners, strumenti di litografia utilizzati per chip fino a 28nm, i quali contano un mercato di 5,1 miliardi di dollari. Tra gli strumenti con tecnologie emergenti e con grande potenziale sono da sottolineare gli strumenti

di *imprint lithography*, che vengono prodotti quasi esclusivamente dall'impresa austriaca EV Group. Inoltre gli strumenti di litografia senza maschera sono prodotti da imprese con sede principale in Giappone, Germania e Svezia, tra cui NuFlare (Japan), JEOL (Japan) Mycronic (Sweden) Vistec (Germany). Le imprese con sede principale negli Stati Uniti e in Cina hanno una capacità produttiva di strumenti litografici irrilevante. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 24 – Distribuzione globale delle imprese che producono i diversi tipi di strumenti di litografia in base al fatturato



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

#### 7.2.4. Deposizione (*Deposition*)

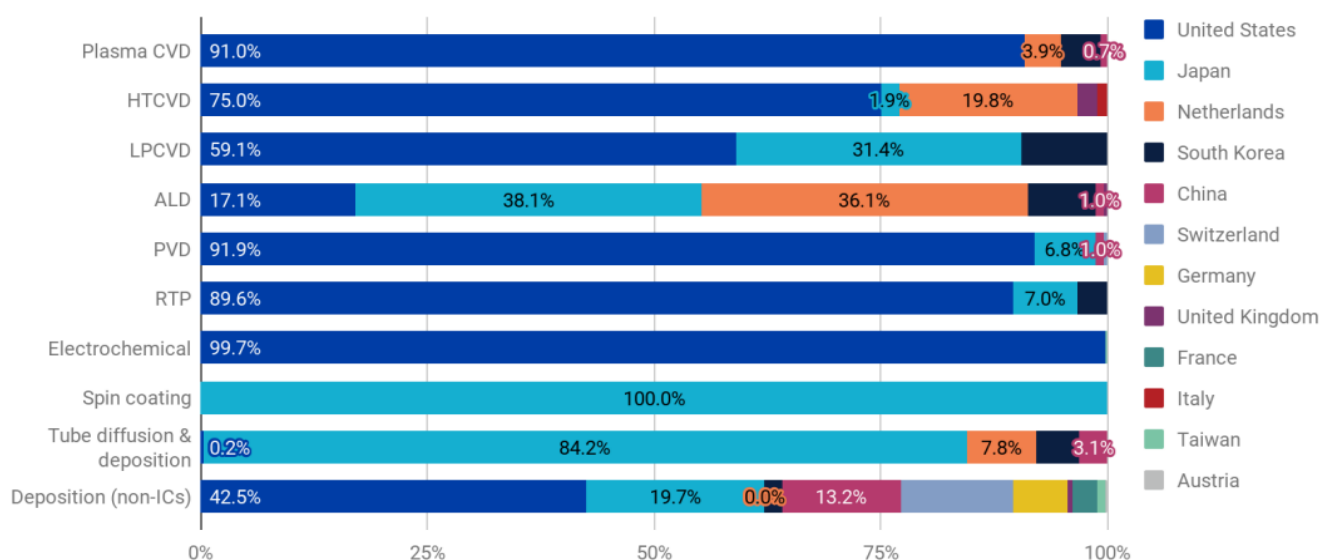
Gli strumenti per la deposizione permettono di depositare sul wafer sottili strati di materiale. Il mercato di questi strumenti ha una dimensione di 13.2 miliardi di dollari. Esistono diverse categorie di strumenti per la deposizione, come quelli per la deposizione chimica a vapore il cui mercato misura 6.6 miliardi di dollari. Sono strumenti usati principalmente per depositare materiali isolanti. Le maggior parte del fatturato derivante dalla produzione di questi strumenti è prodotto da imprese che hanno la sede principale negli Stati Uniti principalmente Applied Materials (U.S.) e Lam Research (U.S.). Una partecipazione rilevante acquisiscono anche l'olandese ASM Int. (Netherlands) e le giapponesi Tokyo Electron (Japan), Kokusai (Japan), specialmente nella produzione di strumenti per deposizione atomica a vapore necessari per depositare strati con lo spessore di un singolo atomo, fondamentali per la produzione di chip di ultima generazione. In questo specifico sottosectore dal valore di mercato di 1,6 miliardi le imprese giapponesi hanno una quota del 38,1% e l'olandese ASML del 36,1%.

Un'altra categoria è quella degli strumenti per la deposizione fisica a vapore, i quali hanno una dimensione di mercato di 2.4 miliardi di dollari. Questi strumenti sono utilizzati principalmente per materiali conduttori. Le principali imprese produttrici hanno la sede principale negli Stati Uniti o in Giappone e sono Applied Materials (U.S.) e ULVAC (Japan). Gli strumenti per l'elaborazione termica rapida costituiscono un'altra categoria e vengono prodotti quasi esclusivamente da imprese con sede principale negli Stati Uniti. Questi strumenti

permettono di variare la temperatura del wafer rapidamente e sono necessari per molti passaggi che necessitano la termoregolazione. Il mercato di questi strumenti è di 0,56 miliardi di dollari e le principali imprese sono Applied Materials (U.S.), Mattson Tech (U.S.) e Screen (Japan)

Come si può osservare dal grafico sottostante, le imprese con sede principale negli Stati Uniti occupano quasi l'intera dimensione del mercato, fatta eccezione per gli strumenti di *spin coating*, mercato da 46 milioni di dollari, e per la *tube diffusion and deposition*, mercato da 1.5 miliardi di dollari. In alcuni casi, come abbiamo già visto per esempio con il fotoresistente, per la deposizione del materiale, viene applicata una goccia di materiale liquido al centro del wafer il quale viene fatto ruotare per diffondere il materiale in modo uniforme. Gli strumenti di *spin coating* sono quelli necessari per la rotazione e sono prodotti quasi interamente dalla giapponese Screen (Japan). Gli strumenti di *tube diffusion and deposition* sono necessari per l'immagazzinamento e l'applicazione del materiale sul wafer e sono prodotti principalmente dalle giapponesi Tokyo Electron (Japan) e Kokusai, (Japan) e dall'olandese ASM Int. (Netherlands). (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 25 – Distribuzione globale delle imprese che producono i diversi strumenti di deposizione in base al fatturato



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

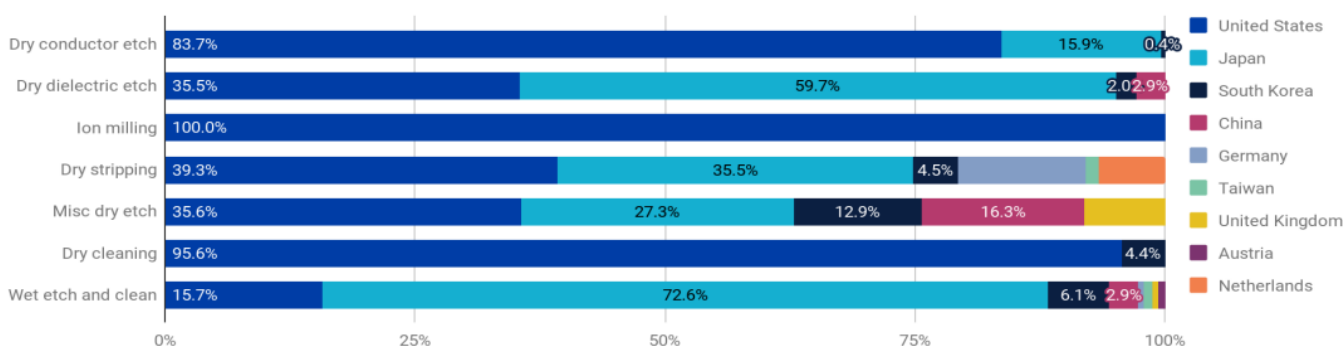
### 7.2.5. Incisione e pulizia (*Etch and clean*)

Gli strumenti di incisione sono responsabili di creare un modello permanente sul chip. In particolare, dopo che con la fotolitografia vengono rimosse parti di fotoresistente secondo un preciso modello, gli strumenti di incisione incidono questo modello creando un substrato permanente. Successivamente gli strumenti di pulizia rimuovono il materiale in eccesso prodotto dal processo di incisione. L'incisione e la pulizia possono avvenire in due modi: quello asciutto, che prevede l'utilizzo di gas, e quello bagnato, che prevede l'utilizzo di liquidi. Il mercato di questi strumenti ha una dimensione globale di 14.7 miliardi di dollari, di cui 11 miliardi coperti interamente da strumenti di incisione di tipo asciutto. Questi ultimi sono prodotti principalmente da imprese con sede principale negli Stati Uniti e in Giappone, con una piccola partecipazione di imprese con sede

principale in Cina. Le principali imprese operanti in questo settore sono Lam Research (U.S.), Applied Materials (U.S.), Hitachi (Japan), Tokyo Electron (Japan) e AMEC (China). Gli strumenti di incisione di tipo asciutto hanno il vantaggio di essere più veloci di quelli bagnati e sono in grado di lavorare con forme più complesse. Nel settore della strumentazione questi sono gli strumenti più avanzati prodotti dalla Cina. Infatti la cinese AMEC produce gli strumenti di incisione asciutta utilizzati da TSMC per la produzione di chip di 7nm e 5nm. Nonostante la Cina abbia raggiunto un buon livello tecnologico in questo settore, gli strumenti di incisione asciutta più avanzati sono gli strumenti di incisione a strato atomico (*atomic layer etching - ALE*) e, nonostante abbiano un mercato di dimensioni ridotte, hanno un forte potenziale per la produzione di chip con dimensioni inferiori a 10nm. Gli strumenti di incisione a strato atomico sono prodotti principalmente da Screen (Japan), Tokyo Electron (Japan) e Lam Research (U.S.).

Gli strumenti di tipo bagnato hanno una dimensione di mercato minore, ovvero 3.2 miliardi di dollari. Questi strumenti hanno il vantaggio di avere un tasso di errore più basso ed un prezzo minore, ma sono meno usati perché più lenti e meno adatti per i chip con dimensioni inferiori a 28nm. Vengono prodotti soprattutto da imprese con sede principale in Giappone che hanno una quota di mercato del 72,6%. Le più importanti sono sicuramente Screen (Japan) e Tokyo Electron (Japan). Altre imprese che partecipano al settore sono Lam Research (U.S.) e Semes (South Korea). (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 26 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti di incisione e pulizia in base al fatturato

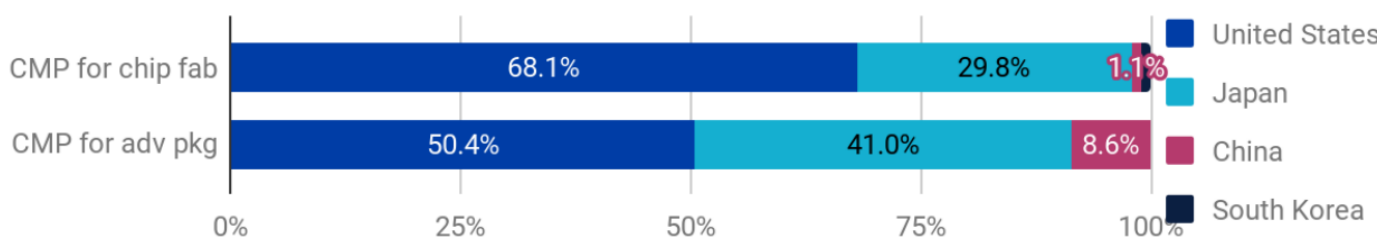


Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.2.6. Planarizzazione Chimica Meccanica (*Chemical Mechanical Planarization*)

Dopo l'incisione e la pulizia, la superficie del wafer viene appiattita meccanicamente. Gli strumenti necessari per questo passaggio sono di vitale importanza per la produzione di chip, nonostante l'avanzamento tecnologico sia modesto ed il mercato misuri soltanto 1.4 miliardi di dollari. Questo settore è dominato da imprese con sede principale negli Stati Uniti che controllano il 68% del mercato (la più importante è Applied Materials (U.S.)). Anche le imprese con sede principale in Giappone hanno una buona partecipazione che raggiunge quasi il 30% del mercato, tra queste troviamo EBARA (Japan) e Accretech (Japan). (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 27 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti per la planarizzazione chimica meccanica in base al fatturato

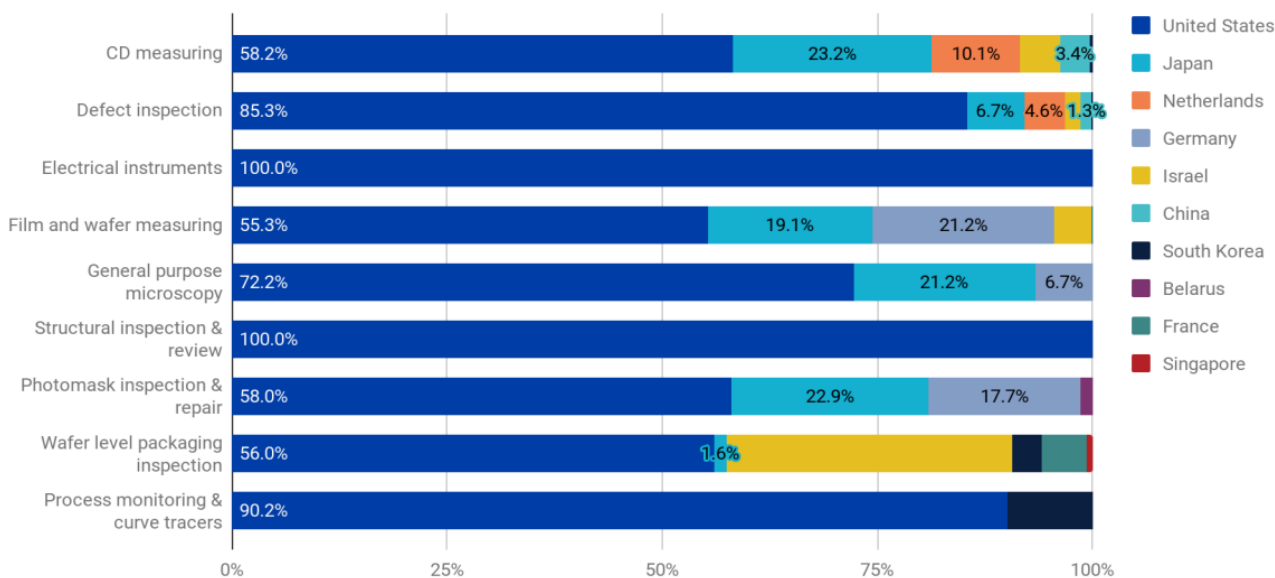


Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.2.7. Controllo di processo (*Process control*)

Gli strumenti di controllo sono molto importanti lungo tutta la filiera produttiva perché in un settore così complesso e costoso è di vitale importanza mantenere il tasso di errore sotto controllo. Questi strumenti, insieme a quelli di litografia, sono i più importanti per il corretto funzionamento della filiera. Il mercato degli strumenti di controllo misura 6.7 miliardi di dollari, di cui circa 5 miliardi, destinati a strumenti utilizzati per il controllo dei wafer. Questi ultimi sono prodotti principalmente da imprese con sede centrale negli Stati Uniti in Giappone, le cui principale imprese sono KLA (U.S.), Applied Materials (U.S.), Onto Innovation (U.S.) per gli Stati Uniti e Rigaku (Japan), Screen (Japan), Hitachi (Japan) Lasertec (Japan) per il Giappone. Partecipano al mercato anche l'olandese ASML (Netherlands), le tedesche Zeiss (Germany) e PVA TePla (Germany) e l'israeliana CAMTEK (Israel). (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 28 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti necessari per il controllo di processo in base al fatturato



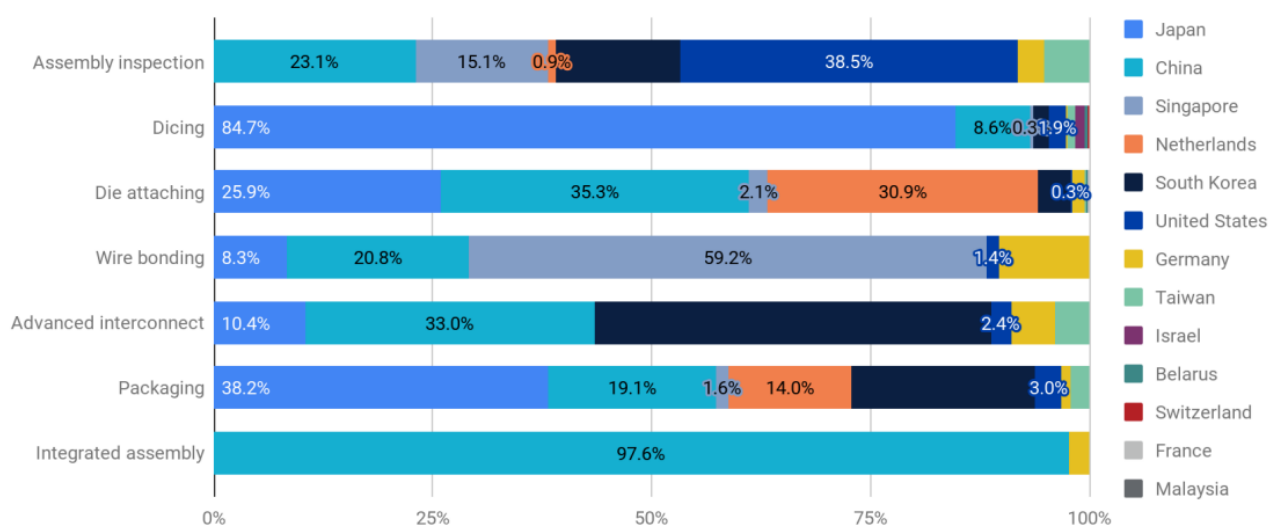
Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.2.8. Assemblaggio e imballaggio (*Assembling e packaging*)

Alla fine del processo di fabbricazione i chip finiti sono ancora indivisi sotto forma di wafer. È necessario tagliare il wafer per separare i chip e poterli assemblare e imballare singolarmente. Questo processo ha bisogno di strumenti specifici il cui mercato misura 3 miliardi di dollari ed è diviso tra molte imprese diverse localizzate

principalmente in Cina, Giappone, Paesi Bassi, Corea del Sud e Germania. In particolare, tra tutti i mercati di strumenti necessari alla produzione di semiconduttori, questo è quello in cui la Cina ha la maggiore competitività e gli Stati Uniti la minore. Il mercato in esame comprende molti strumenti diversi e complementari: gli strumenti per assemblaggio le cui principale imprese sono KLA (U.S.), ASM Pacific (China), ASTI (Singapore), Koh Young Tech (South Korea), Cohu (U.S.), MIRTEC (South Korea), Grand Tec (China), gli strumenti di divisione le cui principale imprese sono DISCO (Japan), Accretech (Japan), ASM Pacific (China), Longhill (China), SYNOVA (China), gli strumenti di incollaggio le cui principale imprese sono Besi (Netherlands), ASM Pacific (China), Fasford Tech (Japan), Canon (Japan), Hoson (China), PROTEC (South Korea), JIAFENG (China), DIAS Automation (China), Kulicke & Soffa (Singapore), Hesse (Germany), Shinkawa (Japan), gli strumenti di imballaggio le cui principale imprese sono TOWA (Japan), ASM Pacific (China), Besi (Netherlands), HANMI (South Korea), Trinity Tech (China), Grand Tec (China), DIAS Automation (China). Come si intuisce dal gran numero di imprese questo settore non è caratterizzato da evidenti colli di bottiglia, fatta eccezione per gli strumenti di divisione (*dicing*), il cui mercato misura 0,69 miliardi, e che vengono prodotti per l'84,7% da imprese con sede principale in Giappone. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 29 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti necessari per l'assemblaggio e l'imballaggio in base al fatturato



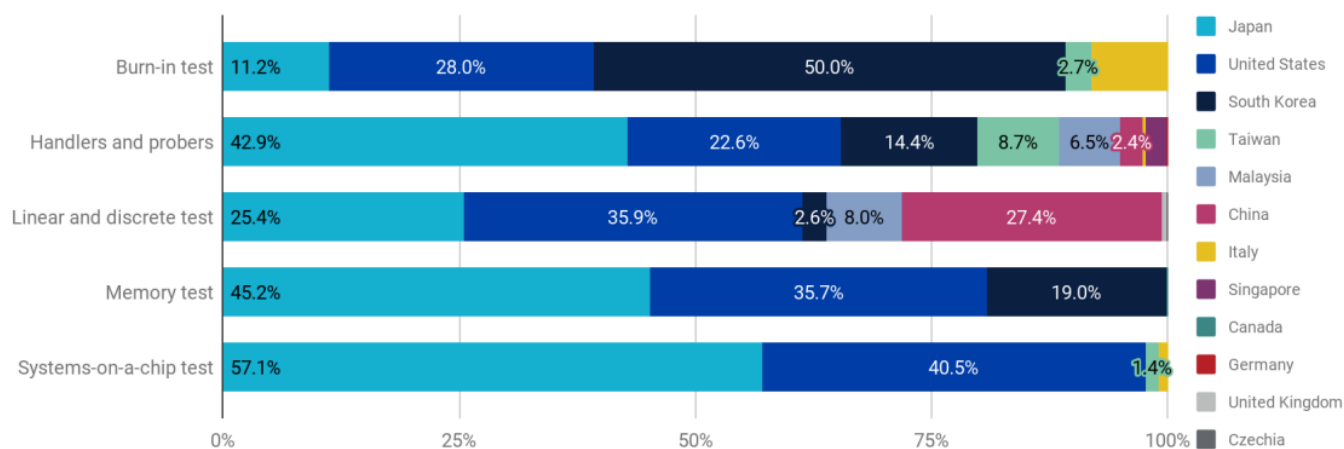
Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

## 7.2.9. Test

L'ultima categoria è quella degli strumenti necessari per la fase di test. In particolare questi strumenti permettono, alla fine della filiera, di testare ogni singolo chip e individuare quelli non funzionanti. Il mercato di questi strumenti ha una dimensione di 5.5 miliardi di dollari ed è dominato da imprese con sede principale in Giappone, come Advantest (Japan), Accretech (Japan) Tokyo Electron (Japan) o negli Stati Uniti, come Teradyne (U.S.), Micro Control (U.S.), Cohu (U.S.). Anche le imprese con sede principale in Corea del Sud

hanno una partecipazione rilevante e le principali sono, UniTest (South Korea) e DI (South Korea). (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 30 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti necessari per la fase di test in base al fatturato.



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

### 7.3. Automazione della progettazione elettronica e proprietà intellettuale fondamentale (*Electronic Design Automation and Core IP*)

Le imprese che si occupano di automazione della progettazione elettronica e proprietà intellettuale fondamentale (EDA e Core IP) sono imprese altamente specializzate che si inseriscono nella catena produttiva come fornitori delle imprese di design. Queste imprese investono ogni anno il 30-40% dei propri ricavi in ricerca e sviluppo. Le EDA forniscono un supporto ai designer sviluppando software molto avanzati in grado di automatizzare la progettazione e la connessione di miliardi di transistor. Prima della nascita di queste imprese i designer svolgevano questo compito manualmente, ma al giorno d'oggi, l'alto grado di complessità dei chip rende indispensabile l'utilizzo di appositi software. Le imprese di IP sono specializzate nella realizzazione e fornitura di brevetti di proprietà intellettuale. In particolare progettano moduli di transistor che possono essere successivamente inclusi come parte integrante del design di un chip. Il mercato che comprende EDA ed IP ha una dimensione di 11.7 miliardi di dollari e rappresenta il 2.4% del fatturato dell'intera industria. In particolare il mercato EDA ha una dimensione di 6.8 miliardi di dollari ed è dominato da imprese con sede principale negli Stati Uniti, le quali detengono il 95.5% della capacità produttiva. Tra queste si distinguono Synopsys (U.S.), Cadence (U.S.), Mentor Graphics (U.S./Germany), 190 Ansys (U.S.), Silvaco (U.S.), PDF Solutions (U.S.). Il mercato degli IP ha una dimensione inferiore, 3.9 miliardi di dollari, ed è controllato per il 43.4% da ARM (UK), impresa di proprietà giapponese ma con sede centrale nel Regno Unito e per il 52% da imprese con sede centrale negli Stati Uniti come Synopsys (U.S.), Cadence (U.S.), SST (U.S.), Imagination Technologies (U.K./China), Ceva (U.S.). Il ruolo della Cina in questo settore è assolutamente marginale. Un'interessante statistica mostra che tra i 1500 ingegneri cinesi specializzati in EDA solo 300 sono impegnati

in Cina, i restanti 1200 lavorano altrove. Per fare un confronto l'impresa statunitense Synopsis conta tra i suoi dipendenti 5000 ingegneri specializzati in EDA, ovvero quasi 17 volte di quelli occupati in Cina. L'unica impresa cinese in grado di seguire tutto il processo produttivo è Empyrean, fondata nel 2009. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

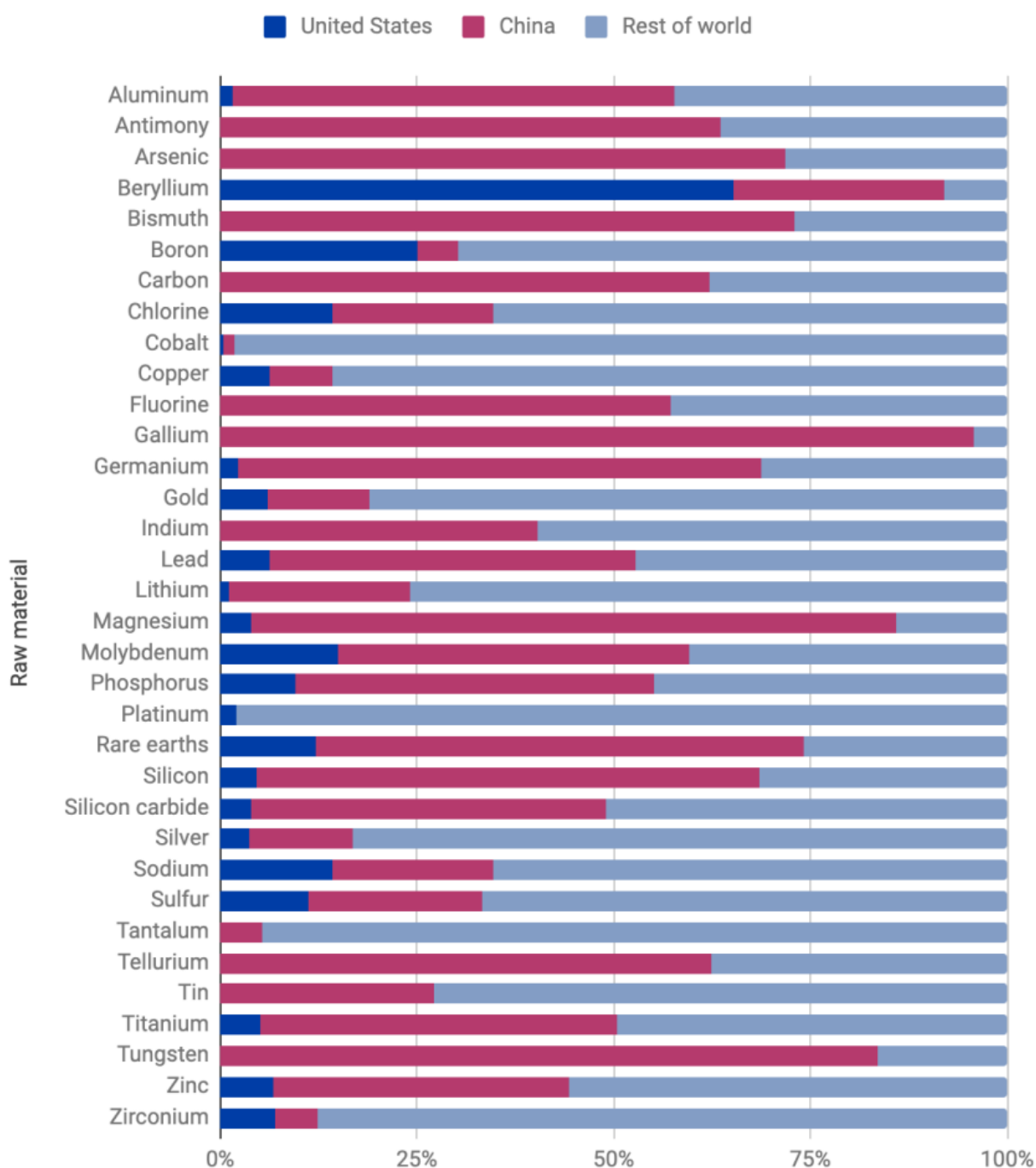
Nella stesura di questo capitolo è stato ritenuto più utile raggruppare questi due business in un'unica categoria perché spesso sono intrapresi da un'unica impresa, come nel caso delle due imprese statunitensi Synopsis (U.S.), Cadence (U.S.). Sono presenti anche imprese che decidono di specializzarsi in IP come ARM (UK), impresa di proprietà giapponese ma con sede centrale nel Regno Unito. Sono invece più rari i casi di imprese che decidono di specializzarsi esclusivamente in EDA. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

#### **7.4. Materiali**

I materiali grezzi vengono estratti e successivamente lavorati per essere utilizzati lungo la filiera produttiva. I materiali grezzi sono il segmento in cui la Cina ha il maggior vantaggio competitivo. Come si può osservare nel grafico sottostante i materiali utilizzati per la produzione di semiconduttori sono 34 e la maggior parte di questi vengono estratti in Cina. In particolare la Cina è responsabile dell'estrazione di più del 75% del fabbisogno di gallio, magnesio e tungsteno e di più del 50% di altri 10 materiali, è quindi evidente che il vero e unico punto forte della Cina nell'industria dei semiconduttori è l'estrazione delle materie prime. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)



Figura 31 – Estrazione di materiali grezzi per nazione



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

Una volta estratte le materie prime vengono lavorate e utilizzate nelle fasi di fabbricazione e di imballaggio. In particolare i materiali utilizzati nella fase di fabbricazione generano un fatturato di 29.9 miliardi di dollari attribuibili per la maggior parte alla produzione di wafer. Quest'ultimo è il segmento più importante all'interno della categoria dei materiali ed è controllato principalmente da imprese con sede principale in Giappone che detengono il 56% della capacità produttiva, di seguito troviamo le imprese con sede principale in Taiwan, Germania e Corea del Sud. Tra le imprese più importanti troviamo Shin-Etsu (Japan), SUMCO (Japan), GlobalWafers (Taiwan), Siltronic (Germany), SK Siltron (South Korea). Altri materiali importanti per la fase di fabbricazione sono le fotomaschere, il fotoresistente, gas e agenti chimici liquidi. I materiali per la fase di

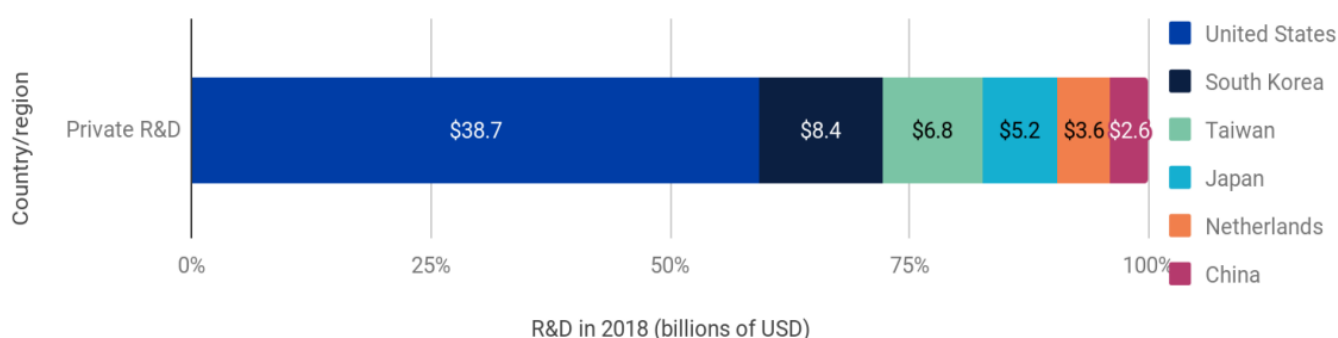
imballaggio hanno una dimensione di mercato di 16.8 miliardi di dollari. Il mercato dei materiali ha un valore totale di 46.7 miliardi di dollari, ovvero una porzione del 10,5% rispetto al mercato totale. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

## 7.5. Ricerca e sviluppo

La ricerca merita un'attenzione particolare, è infatti un elemento trasversale presente in ciascuna delle sei categorie analizzate. In particolare si stima che nel 2019 l'intera industria abbia investito 90 miliardi di dollari in ricerca e sviluppo, che se vengono sommati ai 110 miliardi di dollari di CAPEX, raggiungono circa il 45% dei ricavi totali dell'industria. Considerando gli investimenti effettuati dalle aziende lungo l'intera catena del valore globale, nessun altro settore ha lo stesso alto livello di intensità sia in ricerca e sviluppo che spese in conto capitale. Questo livello estremamente elevato di intensità di investimento crea la necessità di una vasta scala globale e specializzazione. Analizzando la spesa in ricerca e sviluppo di ciascuna categoria rispetto alla spesa in ricerca e sviluppo dell'intero settore e confrontandola con la spesa in conto capitale (CAPEX) di ciascuna categoria rispetto alla spesa in conto capitale (CAPEX) dell'intera industria, si osserva che il 65% della spesa in ricerca e sviluppo è sostenuta da imprese che si occupano di design e che il 65% della spesa in conto capitale è sostenuto da imprese che si occupano di fabbricazione.

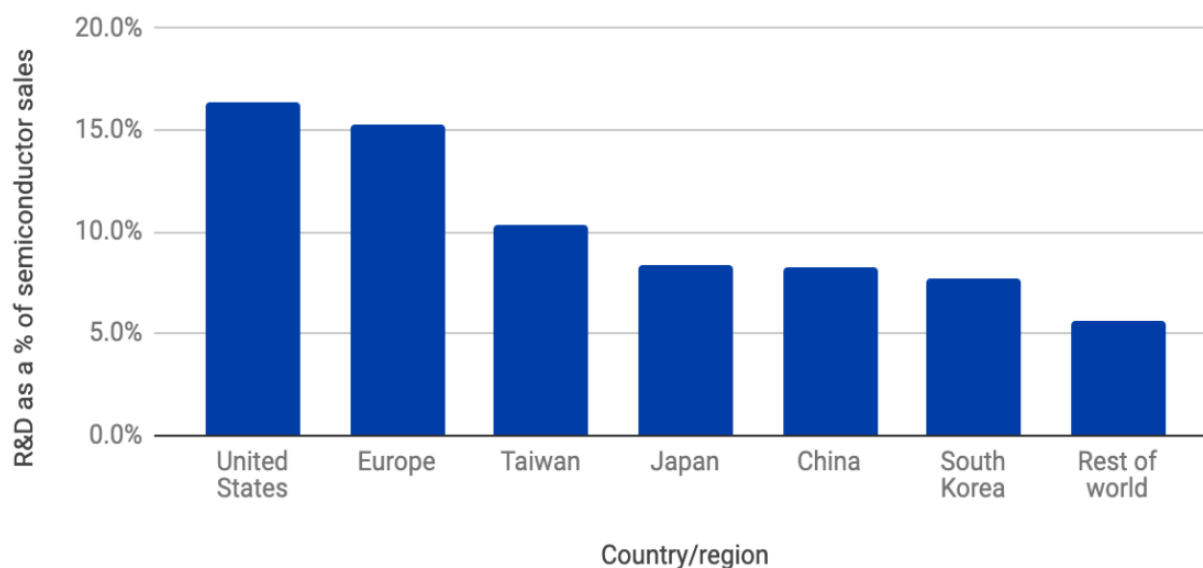
Con riferimento alla distribuzione globale degli investimenti privati in ricerca e sviluppo, secondo i dati CSET del 2018 (figura 32), le imprese con sede principale negli Stati Uniti hanno fatto il 60% degli investimenti totali in ricerca e sviluppo. Di seguito si posiziona la Corea del Sud con una percentuale del 13%, il Taiwan con una percentuale del 10%, il Giappone con l'8%, i Paesi Bassi con il 5% ed infine la Cina con solo il 4% del totale. Un'ulteriore statistica interessante è quella riguardante la percentuale dei ricavi di vendita che viene destinata a ricerca e sviluppo. Come è possibile vedere dal grafico sottostante (figura 33), in questo ambito l'Europa raggiunge la seconda posizione dietro agli Stati Uniti con il 15%. (Khan, Mann, & Peterson, 2021)

Figura 32 – Distribuzione degli investimenti in ricerca e sviluppo da parte delle imprese del settore in miliardi di dollari americani



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2018

Figura 33 – Percentuale dei ricavi di vendita destinata a ricerca e sviluppo per Stati Uniti, Europa, Taiwan, Giappone, Cina, Corea del Sud e resto del mondo.



Fonte: (Khan, Mann, & Peterson, 2021) dati del 2019

Un'ulteriore interessante punto di discussione è la distinzione tra due tipi di ricerca diversi e complementari: la ricerca pre-competitiva che occupa circa il 20% degli investimenti totali in ricerca e la ricerca industriale, che occupa il restante 80%. In particolare la ricerca pre-competitiva, chiamata anche ricerca di base, dà lo stimolo alla ricerca industriale mettendo in luce i possibili settori, tecnologie o materiali che hanno potenzialità di sviluppo tecnologico. La ricerca di base ha tempi più lunghi della ricerca industriale, infatti il periodo medio tra cui un approccio tecnologico viene introdotto per la prima volta in un paper e il periodo in cui viene utilizzato in campo manifatturiero è di circa 10-15 anni ma può essere molto più lungo per le tecnologie più complesse. Per esempio è stato di circa 40 anni per l'Extreme Ultra-Violet (EUV), tecnologia fondamentale per il processo di litografia dei chip di ultima generazione. Il settore della ricerca di base è fondamentale, ma rischioso e poco redditizio, è per questo che le imprese si concentrano maggiormente sulla ricerca industriale. Come vedremo meglio in seguito, questo rende necessario l'intervento dello stato per finanziare la ricerca di base. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021)

## 7.6. L'industria dei semiconduttori in Italia

L'industria dei semiconduttori in Italia è composta da "circa 1.900 imprese attive, che contano quasi 36mila addetti e circa 6,2 miliardi di euro di fatturato" (cdp, 2022). Nonostante il numero di imprese sia considerevole, il settore "è molto concentrato: le 17 imprese con produzione sopra i 50 milioni di euro valgono oltre il 50% del mercato nazionale". Inoltre le "province a più alta specializzazione sono Catania, L'Aquila e Monza-Brianza" (cdp, 2022). Nelle prossime righe verranno descritte brevemente alcune delle imprese italiane che si occupano di semiconduttori e alcune delle imprese straniere che hanno stabilimenti produttivi in Italia.

La prima è STMicroelectronics, la società IDM di proprietà italo-francese con sede a Ginevra, che è uno dei maggiori produttori di semiconduttori in Europa. “STMicroelectronics è stata costituita nel 1987 dalla fusione tra due società di lungo corso nel settore dei semiconduttori, l'Italiana SGS Microelettronica e la francese Thomson Semiconducteurs, ed è quotata in borsa dal 1994” (STMicroelectronics, 2013). Conta circa 46000 dipendenti di cui circa 10800 in Italia e circa 8.100 impiegati in ricerca e sviluppo. I principali stabilimenti italiani di ST sono quelli di Agrate e quello di Catania. Secondo i dati forniti da STM la società investe circa il 13.5% dei ricavi in ricerca e sviluppo ogni anno, ricavi che ammontano a 10,2 miliardi di dollari nel 2021. (STMicroelectronics, s.d.) Benché la proprietà di ST sia per metà italiana, e occupazione e produzione siano per buona parte locate in Italia, ST viene classificata in molte delle precedenti statistiche come una società svizzera, perché la sede principale è a Ginevra.

LPE è una società di Branzate nota per la vicenda del golden power, infatti nella primavera 2021 il Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dello sviluppo economico Giancarlo Giorgetti, ha applicato il golden power, impedendo a Shenzhen Investment Holdings Co., società partecipata dallo stato cinese, di acquistare il 70% di LPE, in quanto ritenuta di interesse nazionale. Quest'ultima è nata nel 1972 e si occupa di produrre reattori epitassiali, strumenti importanti per la lavorazione del silicio necessari per la produzione di chip. LPE conta 52 dipendenti e nel 2019 ha avuto un fatturato di circa 27 milioni di euro, in forte calo rispetto a quelli del 2018 di 49 milioni di euro (LPE, s.d.). La società produce interamente in Italia ma l'Italia rappresenta solo il 4% del suo mercato che si sviluppa prevalentemente in Cina in cui esporta il 70% della produzione.

Un'altra società che partecipa all'industria dei chip è Sapio, con sede a Monza, fondata nel 1922. È fornitore di gas necessari per diverse industrie, tra cui quella dei semiconduttori. Il fatturato totale nel 2020 è stato di 629 milioni di euro e conta circa 2300 dipendenti. (Sapio, s.d.)

Diverse imprese italiane si occupano di progettare e realizzare strumenti per il controllo delle fasi di produzione. Tra queste troviamo Spea azienda nata nel 1976 con sede a Volpiano in provincia di Torino che si occupa di realizzare macchinari per il collaudo dei chip. Si definisce “l'unico produttore di sistemi di test la cui offerta abbraccia tutte le fasi del collaudo lungo la filiera elettronica: dal test del wafer di silicio, a quello del microchip, fino al collaudo in-circuit, flying probe o funzionale sul pcb assemblato e sul modulo elettronico finito”. Nel 2019 ha avuto un fatturato di oltre 100 milioni di euro. (Sapea, s.d.)

Un'altra impresa importante è Technoprobe Test che si occupa di “creare interfacce complesse tra il wafer con microchip da testare e tester in grado di inviare controlli ai chip e di rilevarne il funzionamento” in particolare è “specializzata nella progettazione e produzione di Probe Card. Le schede sonda sono sistemi complessi ad alta tecnologia necessari per testare i chip dei maggiori produttori di semiconduttori nel mondo”. Questa impresa è nata nel 1993 a Milano, oggi è il secondo produttore mondiale di schede sonda con 1000 dipendenti e un fatturato di 264 milioni di dollari nel 2020 con sedi in 10 stati. (Technoprobe, s.d.)

Un'impresa più piccola è ELES SPA nata nel 1988 con sede a Todi “progetta e produce apparecchiature, soluzioni e servizi per test di affidabilità innovativi per l'industria dei semiconduttori”. Conta ricavi di circa 10 milioni di euro nel 2021. (ELES SPA, s.d.)

Un'altra azienda facente parte dell'indotto è Meridionale Impianti che ha sede a Caponago in provincia di Monza e si occupa tra le altre cose di realizzare e installare *clean room*, necessarie per evitare contaminazioni durante la produzione di semiconduttori. Conta un fatturato di 42 milioni di euro nel 2020, non tutti legati all'industria dei semiconduttori. (Meridionale Impianti, s.d.)

PVA Italy srl, è una filiale di PVA TePla AG, si occupa di realizzare impianti di produzione di cristalli per l'industria dei semiconduttori. PVA TePla ha un fatturato nel 2021 di circa 149 milioni di euro, mentre la filiale Italiana conta un fatturato tra i 3 e i 6 milioni di euro. (PVA Italy srl, s.d.)

Memc Electronic Materials è una società del gruppo Global Wafers di Singapore che ha due stabilimenti in Italia, uno a Merano per la produzione di lingotti di silicio monocristallini ed uno a Novara per la produzione di wafer. (GlobalWafers Singapore Pte. Ltd., s.d.)

## **8. Barriere all'entrata**

Dall'analisi fin qui svolta si evince quanto sia elevato il grado di complessità di questo settore. In questo capitolo si studieranno le barriere all'entrata per capire quali sono e quanto sono alte. Si utilizzerà come punto di riferimento iniziale la definizione di barriere all'entrata fornita da Bain secondo cui queste misurano “di quanto, nel lungo periodo, le imprese già sul mercato possono aumentare i loro prezzi di vendita al di sopra dei costi medi minimi di produzione e distribuzione (associati alla scala produttiva ottimale) senza indurre l'entrata di imprese potenziali concorrenti” (Scognamiglio Pasini, 2006). In altre parole secondo Bain si hanno barriere all'entrata ogni qualvolta vi sia un livello di prezzo maggiore del costo medio minimo di lungo periodo, ovvero ogni volta che c'è una forma di potere di mercato che riesce a perpetuarsi nel lungo periodo. Le principali barriere all'entrata nel settore dei semiconduttori sono legate alle economie di scala e alla tecnologia, a queste si aggiungono barriere all'entrata di tipo istituzionale.

Il settore dei semiconduttori è ad alto livello tecnologico, come testimoniato dagli ingenti investimenti in ricerca e sviluppo adottati da tutte le imprese del settore. In particolare le imprese caratterizzate da un livello tecnologico più elevato sono quelle operanti nella fase del design e quelle che forniscono elementi di supporto necessari per la fase di design, ovvero EDA e IP. Ma anche quelle operanti nella fase di produzione e da alcune imprese fornitrici di macchinari, tra le quali spiccano le imprese produttrici di strumenti per la litografia. Ad un maggiore livello tecnologico corrispondono barriere all'entrata più alte perché per molti potenziali competitori risulta estremamente difficile avere accesso ad una tecnologia così avanzata e ad una grande quantità di manodopera altamente qualificata. Inoltre, da un punto di vista dinamico, l'alto livello tecnologico contribuisce al verificarsi di marcati processi di apprendimento. Questo comporta che, una volta raggiunto un determinato livello tecnologico, siano necessari diversi anni per raggiungere la capacità produttiva ottimale. Ciò si traduce in un ulteriore aumento delle barriere all'ingresso.

In secondo luogo, le barriere all'entrata dovute alle economie di scala contraddistinguono l'intera filiera produttiva ma sono particolarmente alte nella fase di produzione. La dimensione ottima minima in questa fase è estremamente elevata, anche a causa dell'alta intensità di capitale che le imprese devono affrontare. La BCG

stima che siano necessari circa 5 miliardi di dollari per una fabbrica di dimensioni standard di chip analogici avanzati e circa 20 miliardi per una di chip logici e di memoria avanzati (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021). A supporto di questa stima TSMC ha dichiarato che sarà necessario un investimento di 19.5 miliardi di dollari per aprire la prossima fabbrica di chip da 3nm, tecnologia che entrerà sul mercato nel 2023. Inoltre sono necessari circa 5 anni per portare la produzione a pieno regime raggiungendo la massima capacità produttiva, ciò comporta un allungamento dei tempi di recupero dell'investimento.

Da un punto di vista dinamico il continuo avanzamento tecnologico contribuisce ulteriormente all'innalzamento di barriere all'ingresso. L'innovazione tecnologica richiede da un lato la possibilità di accedere facilmente a tecnologie avanzate e dall'altro enormi investimenti. Pertanto le imprese che hanno un livello tecnologico più avanzato e una dimensione maggiore saranno più propense e più facilitate a raggiungere il livello tecnologico successivo, aumentando il divario con i competitori. Si innesca quindi una dinamica in cui chi vince prende tutto, secondo cui oltre alle barriere all'entrata che misurano quanto sia difficile per un potenziale competitore entrare nel settore, bisognerebbe misurare anche quanto sia difficile per i soggetti presenti nel settore con livelli tecnologici e dimensioni modeste, raggiungere l'apice di avanzamento tecnologico. A dimostrazione di ciò, i settori con un più alto valore tecnologico hanno una concentrazione più elevata e sono coperti per la maggior parte da una o due imprese. Per esempio per quanto riguarda le foundry l'intera produzione di chip da 10nm è in mano a TSMC, Samsung e Intel, quella di 7nm è quasi totalmente in mano a TSMC, con la partecipazione di Samsung e quella da 5nm, ovvero l'apice tecnologico, è in mano esclusivamente a TSMC. Inoltre la Global Foundries, con sede centrale negli Stati Uniti ma di proprietà del governo di Abu Dhabi, ha interrotto nel 2018 la produzione di chip da 7nm non potendo competere con i leaders ed ha deciso di focalizzarsi su chip di tecnologia meno avanzata. Allo stesso modo nel settore degli strumenti per litografia, i macchinari EUV scanners, che sono gli unici adatti per chip di 5nm, sono prodotti interamente da ASML. Inoltre gli arfi scanners, strumenti di litografia necessari per chip inferiori di 28nm, che utilizzano la seconda tecnologia più avanzata dopo quella EUV, sono prodotti quasi esclusivamente da ASML e Nikon. (Kleinhans & Baisakova, 2020)

Seguendo un approccio dinamico si osserva che le barriere all'entrata si stanno alzando e secondo alcune previsioni continueranno ad alzarsi almeno per i prossimi dieci anni, consolidando ulteriormente la posizione dominante di alcune imprese e aumentando la concentrazione. Una testimonianza importante arriva da TSMC, che ha deciso di aumentare i prezzi per il 2022. (Kleinhans & Baisakova, 2020)

Infine, un'ulteriore categoria di barriere all'entrata è quella delle barriere istituzionali, che nascono in base a provvedimenti presi dai governi. Tra questo tipo di barriere all'entrata ricoprono un ruolo centrale gli aiuti di stato. Le differenze sulla disciplina sugli aiuti di stato tra gli stati coinvolti nel settore dei semiconduttori è evidentemente un problema, ed è direttamente riconducibile ai differenti paradigmi dominanti in ciascuno stato. In particolare si contrappongono gli stati orientali a quelli occidentali. Gli stati orientali sono soliti elargire ingenti finanziamenti alle imprese del settore aiutandole ad abbassare i costi e ad acquisire un notevole vantaggio competitivo sulle imprese occidentali e soprattutto europee, le quali non beneficiano di questi aiuti

da parte dei propri governi. La differenza di disciplina genera delle distorsioni delle barriere di ingresso, per esempio il costo di una nuova fabbrica locata negli Stati Uniti è approssimativamente il 25%-50% più alto che in Asia, e il 40%-70% di questa differenza è direttamente attribuibile ai maggiori aiuti di stato elargiti dai governi asiatici. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021). In secondo luogo si osservano le limitazioni che alcuni governi impongono alle esportazioni o all'utilizzo di determinate tecnologie. Questo tipo di provvedimenti costituiscono una barriera all'entrata perché restringono l'ampiezza del mercato per determinate imprese, imponendo costi maggiori di approvvigionamento o l'utilizzo di tecnologie meno avanzate e quindi con minore competitività. Nei prossimi capitoli si analizzeranno nel dettaglio queste misure.

# CONDOTTA DELLE IMPRESE

## 9. Condotta delle imprese

Uno degli aspetti più importanti del paradigma di Scherer è proprio la condotta delle imprese. Il primo aspetto da valutare riguarda la politica dei prezzi. Per discutere la politica dei prezzi delle imprese operanti nel settore dei semiconduttori ci si riferirà alla teoria di Bain. In particolare secondo Bain i prezzi sono formati dal costo marginale più un fattore d'entrata. Questo è il prezzo fissato dalle imprese presenti nel mercato per non far entrare i potenziali concorrenti. Le imprese operanti in questo settore hanno tutte una buona capacità decisionale sul prezzo, che aumenta con l'aumentare della concentrazione. In particolare le imprese operanti nei settori con tecnologia più avanzata come EDA ed IP, strumenti di litografia EUV e fabbricazione di chip all'avanguardia, operano in regime di quasi monopolio, la concentrazione è alta perché sono protette da alte barriere all'entrata.

Un'ulteriore punto di analisi riguarda le strategie del prodotto. Per sfruttare le economie di scala e per raggiungere livelli tecnologici adeguati le imprese hanno una forte tendenza alla specializzazione. In altre parole le imprese non si accontentano di avere una modesta posizione in diversi punti della filiera ma puntano a diventare leader di un singolo nodo della filiera. In questo modo hanno la capacità di influenzare il prezzo. Questo avviene anche grazie alle diverse fusioni che hanno caratterizzato il settore negli ultimi anni, necessarie per sfruttare economie di scala, e le alleanze con altre imprese della stessa filiera. Con l'aumento del grado di specializzazione risulta infatti necessario avere delle alleanze solide che permettano di assicurarsi gli approvvigionamenti.

Un altro tema importante è quello che riguarda ricerca e innovazione. Dall'analisi fin qui svolta risulta che il settore è caratterizzato da un'alta percentuale di investimenti in ricerca e sviluppo rispetto ai ricavi. È interessante notare che la gran parte dei segmenti che costituiscono questo settore, specialmente i nodi più all'avanguardia e con una maggior capacità di innovazione, sono caratterizzati da dimensioni ottime minime molto elevate rispetto alla dimensione del proprio mercato, infatti spesso le tre maggiori imprese di un segmento ricoprono una quota di mercato tra il 50% e il 90%, percentuale che tende ad essere più alta nei segmenti ad alto tasso di innovazione. Risulta interessante il collegamento con la teoria sull'innovazione di Schumpeter secondo cui si può innovare più facilmente in regime di monopolio perché il monopolista è l'unico che ha profitto. In particolare, secondo Schumpeter, la rendita di monopolio (o quello che egli definisce profitto dell'imprenditore) di cui beneficia l'innovatore tecnologico nel corso di tutto il processo sopra delineato è un incentivo sufficiente per investire nella ricerca di nuova conoscenza (Chang, 2014).

Infine, in riferimento a tutta l'analisi sulla condotta, è importante sottolineare che in alcuni casi imprese e stati si sovrappongono, molte delle imprese orientali hanno infatti una buona e in alcuni casi maggioritaria partecipazione statale. Pertanto in questi casi la condotta delle imprese andrebbe analizzata non solo in un'ottica di mercato ma in ottica geopolitica, come si proverà a fare nei prossimi capitoli.



# PERFORMANCE

## 10. Analisi della performance

L'industria dei semiconduttori è alla base dello sviluppo economico mondiale, i chip sono ormai delle commodities indispensabili per il funzionamento di innumerevoli altri settori, sempre più legati allo sviluppo tecnologico. Il settore dei semiconduttori sta attraversando un periodo caratterizzato da forte crescita, alti ricavi e una grande capacità di innovazione. Allo stesso tempo però è soggetto a diverse vulnerabilità, legate principalmente alla specializzazione e alla forte concentrazione geografica delle imprese. Queste vulnerabilità hanno portato alla crisi dei semiconduttori nata nel 2019.

In primo luogo si analizzerà la performance del settore in un'ottica globale, quindi mettendo in relazione la buona performance in termini di crescita, innovazione e ricavi, con la crisi. In particolare si cercherà di valutare l'impatto della crisi e di individuarne le possibili cause, dedicando un'attenzione particolare al duplice effetto della specializzazione. In seguito verranno confrontate le diverse politiche adottate dai principali stati coinvolti. Il capitolo si concluderà con un'analisi particolare sulla performance del settore europeo, caratterizzato da un andamento discendente e contrastante con il resto del settore.

## 11. Performance positiva

Negli ultimi trent'anni l'industria mondiale dei semiconduttori ha avuto ottime performances dal punto di vista della crescita, del reddito generato e dell'innovazione tecnologica, favorendo la crescita economica. Entrando nel dettaglio, il mercato dei semiconduttori tra il 1990 e il 2020 è cresciuto con un tasso annuale del 7.5%. In particolare, a gennaio 2022 La Semiconductor Industry Association (SIA) ha annunciato che “le vendite globali dell'industria dei semiconduttori sono state di \$ 49,7 miliardi a novembre 2021, con un aumento del 23,5% rispetto al totale di novembre 2020 di \$ 40,2 miliardi e l'1,5% in più rispetto al totale di ottobre 2021 di \$ 49,0 miliardi. Il totale annuo cumulativo di semiconduttori venduti fino a novembre 2021 ha raggiunto 1,05 trilioni, che è il totale annuale più alto mai registrato nel settore” (SIA Semiconductor Industry Association, 2022). Inoltre, secondo una stima di BCG questo settore ha generato un ulteriore aumento del PIL mondiale di 3 trilioni dollari tra il 1995 e il 2015 e un ulteriore impatto indiretto di 11 trilioni di dollari. Dal punto di vista tecnologico, dall'invenzione dei circuiti integrati del 1958, il numero di transistor per wafer è aumentato di un fattore di 10 milioni, aumentando la velocità del processore di 100000 volte. Per fare qualche esempio gli *smartphone* al giorno d'oggi hanno una capacità di memoria simile a quella che aveva un *data center* nel 2010. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021)

### 11.1. Specializzazione geografica

Le imprese facenti parte del settore dei semiconduttori sono altamente specializzate e ciò rispecchia la tendenza alla specializzazione che contraddistingue l'epoca contemporanea. Questa tendenza, nonostante porti

con sé diversi rischi, è origine di sostanziali vantaggi. Uno studio della BCG svolto in collaborazione con SIA mostra i vantaggi della segmentazione della catena del valore e della sua distribuzione a livello globale. In particolare è stato costruito uno scenario estremo in cui ciascuno dei paesi con una maggiore quota di mercato abbia un livello di produzione di chip tale da garantire l'autosufficienza. In altre parole, tale scenario ipotizza che ogni stato riesca a produrre internamente tutti i semiconduttori che il proprio mercato interno richiede. Questo scenario prevede investimenti aggiuntivi che variano tra i 900 e i 1225 miliardi di dollari ma soprattutto un aumento dei prezzi finali tra il 35% e il 65%. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021) Lo scenario in questione dimostra che un forte grado di specializzazione geografica della catena del valore sia efficace e necessaria per il raggiungimento dell'innovazione e della creazione del valore e che nessuno stato potrà essere indipendente.

## **12. La crisi dei semiconduttori**

Nonostante il settore abbia livelli di profitti elevati e sia in forte crescita si parla molto di crisi dei semiconduttori. La crisi di cui si parla è una crisi dell'offerta che si verifica perché l'offerta non riesce a soddisfare la domanda, in altre parole non vengono prodotti abbastanza chip. La domanda supera l'offerta di circa il 15% e questo avviene per tutta la gamma di semiconduttori, non solo per quelli più all'avanguardia (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021). Per fare qualche esempio secondo AlixPartners nel 2021 la crisi dei chip ha causato al settore automobilistico perdite per 210 miliardi di dollari e un taglio della produzione di veicoli di 7,7 milioni di unità (AlixPartners, 2021). È utile ricordare che in un'auto sono presenti circa 1500 chip che raddoppiano nei modelli più sofisticati, inoltre questo numero tende ad aumentare con il maggior utilizzo di componenti elettronici, con la maggior diffusione delle auto elettriche e con l'introduzione della guida autonoma (ANFIA Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica, 2021). Entrando nel dettaglio Stellantis aveva pianificato per il 2021 un taglio produttivo di 190000 unità a causa della carenza di chip e per lo stesso motivo ha dovuto chiudere lo stabilimento di Melfi per 17 giorni tra aprile e maggio 2021 mandando in cassa integrazione 7000 dipendenti (Greco, 2021). Un altro esempio è Subaru che ha interrotto la produzione dei veicoli riducendola complessivamente di 25 mila unità per il mese di aprile 2021 (ANSA, 2021). Sempre riguardo all'automobilistico la stima dei veicoli consegnati nel 2021 negli Stati Uniti è in calata di circa 1,28 milioni di unità rispetto al 2020. In particolare, Ford ha affermato che il danno subito potrebbe ammontare a 2,5 miliardi di dollari e a circa 1,1 milioni di unità perse nel 2021 (Wayland, 2021). La crisi ha causato danni per i consumatori non solo in termini di aumento dei prezzi e ma anche per quanto riguarda i tempi di consegna che sono addirittura triplicati (ANFIA Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica, 2021). Lasciando da parte il settore automotive sono interessanti i dati forniti da Apple che, secondo Forbes, ha annunciato di aver perso l'equivalente di 6 miliardi di dollari di vendite nel solo terzo trimestre del 2021 a causa della carenza di chip (Forbes, 2021).

### 13. Le cause della crisi: il duplice effetto della specializzazione

L'avvento della crisi dei semiconduttori è riconducibile a due tipi di cause, legate alla domanda e all'offerta. In particolare la domanda di semiconduttori, già in aumento negli ultimi anni, ha subito un'impennata durante la pandemia a causa principalmente dell'aumento della domanda di dispositivi consumer. D'altro canto, l'offerta non è riuscita a sostenere la rapida e sostenuta crescita della domanda. Questo è avvenuto per due motivi principali: da un lato, come abbiamo visto in precedenza, aumentare la capacità produttiva è molto difficile a causa di elevati capitali necessari, tempi molto lunghi, difficoltà nell'attrarre talenti, necessità di infrastrutture solide, dall'altro lato la capacità produttiva esistente è stata intaccata.

La forte concentrazione geografica comporta senz'altro delle vulnerabilità e dei forti rischi. Dal capitolo sulla distribuzione globale è emerso che l'industria dei semiconduttori è caratterizzata da una forte specializzazione e da una forte concentrazione geografica. Sono stati individuati numerosi punti di strozzatura lungo la catena produttiva in cui almeno il 65% della produzione mondiale di un determinato segmento è concentrata in un unico paese o addirittura in un'unica impresa, secondo la BCG questi colli di bottiglia sarebbero cinquanta (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021). Inoltre molti di questi segmenti sono indispensabili per la filiera e difficilmente sostituibili nonostante abbiano un valore di mercato molto piccolo rispetto al totale. Queste strozzature rappresentano dei punti di vulnerabilità per l'intero settore perché se uno di questi nodi dovesse interrompere o rallentare la propria produzione a causa di disastri naturali, fallimenti infrastrutturali, attacchi informatici o frizioni internazionali, allora i danni causati all'intera industria sarebbero enormi. Questa caratteristica non è nuova, per esempio nel 1993 l'esplosione di una fabbrica in Giappone, la Sumitomo Chemical, ebbe un impatto del 60% sulla produzione di resina epossidica e ciò fece aumentare i prezzi dei chip di memoria DRAM sul mercato statunitense da \$30/megabyte fino a circa \$80/megabyte. In seguito, i disastri naturali che hanno colpito il Giappone del 2011 hanno causato una perdita del 25% della produzione di wafer e del 75% della produzione di perossido di idrogeno facendo chiudere per diversi mesi molte fabbriche in tutto il mondo. Inoltre, in tempi più recenti si sono verificati alcuni avvenimenti che hanno contribuito direttamente alla nascita della crisi. Per esempio nel 2019 a causa di una tensione geopolitica il Giappone ha imposto un controllo delle esportazioni di materiali per semiconduttori verso la Corea del Sud generando un impatto negativo per l'intera industria di circa 7 miliardi di dollari al mese. In aggiunta, nel dicembre 2020 un guasto elettrico ha causato l'interruzione di una delle fabbriche di Taiwan per solo un'ora causando una riduzione della produzione mondiale giornaliera di DRAM del 10%. La situazione in Taiwan è stata ulteriormente aggravata da due incendi scoppiati a ottobre 2020 e febbraio 2021 in fabbriche necessarie per la fase di test e assemblaggio. La situazione che sembra già compromessa potrebbe ulteriormente peggiorare. Pensando per esempio al C4F6, un gas necessario per la produzione dei chip di memoria 3D NAND e di alcuni chip logici avanzati. Questo gas permette di rendere la fase di incisione 30% più veloce di qualsiasi alternativa presente sul mercato, inoltre, una volta che una fabbrica è predisposta per l'utilizzo di questo gas è molto difficile riadattarla per un altro gas. Il mercato totale del C4F6 è stato di circa 250 milioni nel 2019 e i principali fornitori sono locati in Giappone (40%) Russia (25%) e Corea del Sud (23%). Una perdita di produzione di

C4F6 dal valore di 60-100 milioni di dollari causerebbe un danno al settore dei semiconduttori 175 volte maggiore raggiungendo una cifra tra i 10 e i 18 miliardi di dollari. (Varas, Varadarajan, Goodrich, & Yinug, 2021)

È facile intuire che la pandemia ha aggravato notevolmente questa situazione: la chiusura temporanea e ripetuta di molte imprese, dovuta a misure di contenimento della pandemia, ha causato un effetto a catena rallentando la filiera e riducendo la produzione globale.

Si prevede che la crisi finirà non prima del 2024. In particolare la domanda continuerà ad aumentare, soprattutto per sostenere nuove tecnologie quali AI, IoT, 5G, VR, ma allo stesso tempo crescerà anche l'offerta ma con un tasso di crescita annuo maggiore rispetto a quello della domanda in modo da tornare ad una situazione di equilibrio tra domanda e offerta. Una volta raggiunto l'equilibrio sarà necessario porre l'attenzione sulla differenza dei tassi di crescita della domanda e dell'offerta per mantenere un equilibrio ed evitare la sovrapproduzione.

# ANALISI GEOPOLITICA

## 14. Analisi geopolitica

Il settore dei semiconduttori è un settore fondamentale dal punto di vista economico e di sicurezza nazionale, in cui è difficile entrare a causa delle alte barriere all'entrata e che è soggetto ad alti rischi legati alle numerose strozzature. Gli stati quindi intervengono per favorire lo sviluppo delle proprie imprese, cercando di abbassare le barriere all'entrata per le proprie imprese, con aiuti di stato e facilitando la ricerca e l'attrazione di talenti. D'altra parte, riguardo alla politica estera, gli stati cercano di ottenere alleanze per consolidare la propria posizione e assicurarsi l'approvvigionamento e allo stesso tempo intraprendono azioni che possano danneggiare gli stati rivali, alzando le barriere all'ingresso per le imprese straniere, rallentando o bloccando il loro sviluppo tecnologico ed impedendogli l'accesso a tecnologie necessarie. Nelle prossime righe verranno analizzate le politiche dei principali stati coinvolti nell'industria dei semiconduttori

### 14.1. Politiche cinesi

La Cina è il primo importatore di semiconduttori al mondo ma partecipa in modo marginale alla produzione. La Cina non vuole solo ottenere maggiore indipendenza in questo campo, ma punta ad acquisire una posizione dominante. La strategia cinese si basa principalmente su tre elementi: una forte campagna di investimenti, attrazione e controllo degli investimenti diretti esteri e una forte campagna di acquisizioni, volte ad attrarre conoscenza tecnologica sia in termini di brevetti che in termini di know-how. Il Partito Comunista Cinese sta intraprendendo una forte campagna di investimenti volta ad aumentare la capacità produttiva cinese in diversi settori, nota come Made in China 2025. Questo programma, nato nel 2015 ha previsto un investimento di 300 miliardi di dollari in 10 anni rivolti a 10 settori ad alto valore tecnologico in cui la Cina vuole diventare il primo produttore mondiale. In particolare riguardo ai semiconduttori, l'obiettivo è di produrre in casa l'80% del fabbisogno cinese di chip e di raggiungere nel 2049, centesimo anniversario della Repubblica Popolare Cinese, una posizione di leadership a livello mondiale, obiettivo che sembra però molto lontano. Oltre al Made in China 2025 sono stati fatti altri piani di investimento, tra cui il China National Integrated Circuit Industry Investment Fund, presentato nel 2014 con l'obiettivo di stanziare 150 miliardi di dollari esclusivamente per l'industria dei chip. Questa enorme mole di investimenti serve a sviluppare centri di ricerca, a incentivare la nascita di nuove imprese, a finanziare le numerose imprese statali ed anche ad attirare investimenti diretti esteri. Per le imprese straniere è sempre risultato molto difficile accedere al mercato cinese infatti nel 2017 OECD ha dichiarato che la Cina aveva ed ha tutt'ora la politica di investimenti diretti esteri più restrittiva del G20. Nonostante ciò le joint venture tra società straniere (soprattutto americane) e cinesi sono molto rilevanti e secondo Hinrich Foundation contribuiscono al 10% del pil cinese. Nel grafico sottostante è possibile vedere alcune delle più importanti JVs tra società americane e cinesi a testimonianza della forte connessione tra questi due stati. Testimoniata anche dal fatto che quello cinese è il primo mercato per molte aziende americane per

esempio più del 60% dei ricavi di Qualcomm sono stati generati in Cina nei primi 4 mesi del 2018, per Micron si parla di più del 50% e per Broadcom di circa il 45%. (Capri, 2020)

Figura 34 – Joint Ventures tra imprese cinesi e statunitensi tra il 2014 e il 2018

ANNOUNCED DATE	NON-CHINESE COMPANY	CHINESE COMPANY
Jan-14	IBM	Suzhou PowerCore
Mar-14	IBM	Teamsun
Sep-14	Intel	Tsinghua Unigroup
Nov-14	Texas Instruments	Existing Texas Instruments facility expansion
Dec-14	Micron	PowerTech (Taiwan)
Jan-15	Qualcomm-IMEC	SMIC, Taiwan
May-15	Hewlett-Packard	Tsinghua Holdings (Unisplendour)
Jun-15	Broadcom	H3C Technologies Co.
Sep-15	Cisc Systems	Inspur Group
Dec-15	Qualcomm	SJ Semi (SMIC & Jiangsu Changjiang Electronics Technology JV)
Jan-16	Qualcomm*	Guizhou Province (Huanxintong)
Jan-16	Intel	Tsinghua University and Montage Technology Global Holdings
Apr-16	AMD	Tianjin Haiguang Advanced Technology Investment Company
May-16	Brocade	Guizhou High-Tech Industrial Investment Group
May-16	Dell	Guizhou YottaCloud Technologies
May-16	VMWare	Sugon Information
Sep-16	Western Digital	Tsinghua Unigroup (Unisplendour)
Feb-17	GlobalFoundries	Chengdu Municipality
Mar-17	IBM	Wanda Internet Technology Group
Jul-17	Nivida	Baidu
Feb-18	Intel	Tsinghua Unigroup (Spreadtrum & RDA)
May-18	Qualcomm	Datang Telecom Technology Co.

Note:\* = Since dissolved.

Fonte: (Capri, 2020)

Come accennato in precedenza la Cina sta intraprendendo una forte campagna di acquisizioni volte non solo ad aumentare capacità produttiva ma soprattutto ad acquisire proprietà e capacità intellettuale. Le acquisizioni avvengono tramite fondi tecnologici come Digital Horizon Capital che negli ultimi anni ha investito in 113 società americane o tramite società con partecipazione statale attraverso un sistema di società controllate e controllanti simile ad un gioco di scatole cinesi. Un esempio recente in Italia è quello del tentato acquisto di LPE da parte di del gruppo cinese Shenzhen Investment, fermato dal governo Draghi tramite la Golden Power. La Cina sta facendo passi da gigante ed è il paese che sta crescendo più in fretta in questo settore. Secondo il World Fab Forecast Report di SEMI, la Cina con circa 30 nuove strutture in costruzione o in fase di pianificazione ha il maggior numero di nuovi progetti di fabbriche di qualsiasi paese al mondo. Per assicurarsi una crescita più rapida la Cina ha più volte adottato la tecnica del *decoupling* che consiste nel duplicare le imprese dei paesi più avanzati (in questo caso gli Stati Uniti), ovvero creare imprese che abbiano funzioni e caratteristiche più simili possibile alle imprese statunitensi per assicurarsi di avere un settore industriale che funzioni. Il vero punto debole per cinesi è la fase di design, in cui sono molto dipendenti dagli Stati Uniti. La Cina sta crescendo anche in questo ambito. Infatti secondo PWC, solo tra il 2010 e il 2015, il numero di imprese cinesi operanti nella fase di design è passato da 485 a 715. La Cina ha una potenza di fuoco incredibile

dal punto di vista dei capitali, ma se non riesce ad essere competitiva anche sul versante della conoscenza non riuscirà ad acquisire una posizione di leadership. (Capri, 2020)

## 14.2. Gli Stati Uniti

Gli Stati Uniti d'altro canto, stanno facendo di tutto per consolidare le posizioni in cui sono forti (design) e recuperare terreno dove sono più deboli (foundry), di pari passo stanno cercando di rallentare l'avanzata dei rivali cinesi. Circa trent'anni fa gli Stati Uniti dominavano l'industria dei chip anche con una buona percentuale di fabbriche, in particolare dal 1990 al 2021 gli Stati Uniti sono passati da una capacità produttiva dal 37% rispetto a quella mondiale ad una del 12%. Questo declino è frutto di una ponderata scelta degli Stati Uniti che hanno deciso di delocalizzare la produzione e tenere in casa solo la parte del design, essendo quella a più valore aggiunto e a maggior valore tecnologico, pensando in questo modo di poter controllare l'intera filiera. Gli Stati Uniti si stanno però rendendo conto che, non solo non hanno il controllo dell'intera filiera (come nessun'altro), ma sono esposti a forti rischi. Pertanto hanno deciso di tornare a fare politica industriale e questo avverrà con il CHIPS for America Act acronimo di "creating helpful incentives to produce semiconductors", ovvero il più grande piano di finanziamenti pubblici al settore privato civile che prevede 52 miliardi di dollari. Il Chips Act è parte di un più ampio piano di investimenti di 250 miliardi di dollari, chiamato "US Innovation and Competition Act" (USICA), inizialmente proposto nel maggio 2020 per favorire l'innovazione e la competitività degli Stati Uniti sul fronte internazionale, in modo da "contrastare le iniziative tecnonazionaliste cinesi". A questi finanziamenti pubblici si affiancano una serie di investimenti che provengono direttamente dal settore privato, come vediamo nel grafico sottostante. (Capri, 2020)

Gli Stati Uniti hanno intrapreso una battaglia per fermare l'espansione della Cina con particolare attenzione al colosso cinese Huawei. Di pari passo gli Stati Uniti stanno portando avanti una serie di alleanze volte non solo ad assicurarsi approvvigionamenti ma soprattutto a fare in modo che anche gli alleati adottino misure anti Cina. Entrando nel dettaglio, la gestione Trump ha avviato una linea di forte blocco all'esportazione tecnologica e di software successivamente ripresa anche dal presidente in carica Biden. Nell'agosto 2020 il Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti ha cambiato la precedente "foreign direct product rule". Secondo le normative aggiornate, qualsiasi software o tecnologia statunitense (a prescindere dal valore) che viene utilizzata per produrre un microchip finito in qualsiasi parte del mondo e da qualsiasi produttore rende l'articolo finito un prodotto diretto degli Stati Uniti. In quanto tale, non può essere utilizzato da imprese presenti nella Bureau of Industry and Security (BIS) Entity List. Dal 1997 il Bureau of Industry and Security (BIS) ha stipulato la Entity List, ovvero una lista di soggetti stranieri, tra cui imprese, istituti di ricerca, organizzazioni governative e private, individui e altri tipi di persone giuridiche, che sono soggette a requisiti di licenza specifici per l'esportazione, la riesportazione e/o il trasferimento (nel paese) di articoli specifici. Inizialmente erano inclusi nella lista soggetti che potevano contribuire alla formazione di armi di distruzione di massa, successivamente i motivi per l'inclusione nell'elenco delle entità si sono estesi ad attività sanzionate dal Dipartimento di Stato e ad attività contrarie alla sicurezza nazionale degli Stati Uniti e/o agli interessi di

politica estera. (Bureau of Industry and Security - U.S. Department of Commerce, s.d.) La lista è stata recentemente ampliata includendo una serie di entità cinesi tra cui Huawei. Questo ha di fatto bloccato l'attività di Huawei. Infatti il colosso cinese progetta chip che venivano poi fabbricati dall'impresa taiwanese TSMC. TSMC però utilizza per la fabbricazione tecnologie statunitensi. Dal momento che Huawei è nella Entity List, TSMC non può più produrre chip per Huawei, che si è vista privata del suo fornitore principale ed ha dovuto interrompere la propria attività.

### **14.3. Il ruolo del Taiwan**

Un'attenzione particolare merita il Taiwan. Lo status politico del Taiwan è assolutamente controverso. A partire dal 1661 fino al 1895 il Taiwan è stato parte dell'impero cinese prima come Regno di Tungning e successivamente sotto la dinastia Qing. Successivamente nel 1895, in seguito alla prima guerra sino-giapponese il Taiwan fu ceduto al Giappone. Alla fine della seconda guerra mondiale, nel 1945 la Repubblica di Cina conquistò nuovamente il Taiwan. Nel 1949, dopo la guerra civile cinese, il governo della Repubblica di Cina venne sconfitto e si rifugiò sull'isola di Taiwan, nello stesso anno fu fondata la Repubblica Popolare Cinese. La Repubblica Popolare Cinese, il cui presidente è attualmente Xi Jinping, ha sempre rivendicato il Taiwan come parte del proprio territorio. Inoltre la Repubblica Popolare cinese si è sempre dimostrata determinata nel voler riassumere il controllo del Taiwan. L'operazione di riunificazione potrebbe arrivare nel 2049, come festeggiamento del centenario della Repubblica Popolare Cinese. Inoltre Taiwan è riconosciuto da meno di 15 stati, tra cui la Città del Vaticano. Il Taiwan non è riconosciuto dalla maggior parte degli stati, tra cui anche l'Italia e gli Stati Uniti.

Taiwan è sede della Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC), e questo è sufficiente capire l'importanza del Taiwan nel settore dei semiconduttori. Infatti TSMC è la più grande fonderia del mondo ed ha il monopolio sulla produzione di chip di ultima generazione. Il Taiwan si trova al centro della guerra tecnologica tra Stati Uniti e Cina. Nonostante il fatturato di TSMC dipenda molto dalle aziende statunitensi (60%) è anche molto legato alla Cina, basti pensare che prima del Chips Act l'11% del fatturato di TSMC derivava esclusivamente da Huawei. In termini più generali, l'enorme dimensione del mercato cinese è una forte attrazione per tutte le imprese del settore. Nonostante ciò gli Stati Uniti hanno una forte relazione con Taiwan, sia politica che economica, che nasce nel 1979 con il Taiwan Relations Act, un provvedimento degli Stati Uniti volto a sostenere la pace in Taiwan favorendo difesa militare. Inoltre, sempre sul piano militare, nel 2019 gli Stati Uniti hanno venduto al Taiwan 8 miliardi di dollari in tecnologia militare comprensivi di jet F16. Il Taiwan è un punto di attenzione particolare per gli Stati Uniti che stanno monitorando il rischio di una possibile e imminente invasione cinese del Taiwan. Oltre ad una tragedia umanitaria potrebbe essere anche l'inizio di una grande crisi economica. Gli Stati Uniti stanno quindi spingendo per trasferire parte della capacità produttiva del Taiwan sul suolo americano. (Capri, 2020)



#### 14.4. L'andamento discendente del settore europeo: necessità di politica industriale

Nonostante l'industria mondiale dei semiconduttori stia attraversando una fase di crescita e prosperità, l'industria europea sta seguendo un andamento opposto. L'Europa ha perso una significativa quota di mercato negli ultimi vent'anni, infatti la capacità produttiva europea è passata dal 20% del totale nel 2000 al 10% nel 2020. La situazione è ancora peggiore per quanto riguarda la produzione di chip di avanguardia, infatti si è passati da una quota del 19% nel 2000 ad una quota quasi nulla nel 2020. Questa tendenza negativa è stata favorita in parte dal declino di Nokia, Ericsson e Siemens che hanno perso le loro posizioni dominanti nella produzione di cellulari. Le imprese europee produttrici di chip europei si sono quindi adattate al mercato di riferimento, concentrando la produzione sul settore automotive e sul settore industriale. Alcune di queste imprese, come NXP, Infineon e ST hanno raggiunto posizioni rilevanti a livello mondiale. Queste imprese si concentrano su chip discreti e di potenza che non necessitano un livello tecnologico così avanzato. Ma questo calo è riconducibile anche alla strategia adottata dall'Europa in questi anni che ha scelto di affidare le sorti di questo settore interamente al mercato e vietando aiuti di stato e bloccando la politica industriale. Questa strategia si è rivelata inadeguata, quantomeno in confronto ai forti interventi di politica industriale intrapresi dagli stati orientali ma anche dagli Stati Uniti. L'Europa vuole cambiare rotta e si è posta l'obiettivo di raddoppiare la quota di produzione di chip entro il 2030, come testimonia il Digital Compass 2030, provvedimento presentato dalla Commissione Europea a marzo 2021. Secondo il Presidente del Consiglio Italiano Mario Draghi "L'Unione europea deve mettere insieme le capacità di ricerca, progettazione, sperimentazione e produzione di tutti i Paesi europei per creare, ad esempio, un ecosistema europeo di microchip all'avanguardia" (Draghi, 2021). Ha inoltre affermato di sostenere "con convinzione la proposta della Commissione europea di adottare uno European Chips Act per coordinare investimenti e produzione europei di microchip e circuiti integrati" (Draghi, 2021). La Commissione Europea presieduta da Ursula Von Der Leyen ha quindi reso noti a febbraio 2022 i dettagli del Chips Act europeo che porterà investimenti pubblici notevoli ma al di sotto delle aspettative. Si pensava infatti ad un intervento che potesse oscillare tra i 20 e i 50 miliardi di euro, invece le "risorse stanziare ammontano a 11 miliardi di euro, ma l'obiettivo è che le risorse pubbliche e private mobilitate a vario titolo grazie all'iniziativa generino investimenti per 43 miliardi di euro complessivi entro il 2030" (cdp, 2022). Inoltre la Presidente della Commissione Europea Ursula Von Der Leyen ha anche aperto alla possibilità di una revisione della normativa sugli aiuti di stato per agevolare il settore dei semiconduttori. Alcune interessanti statistiche mostrano che una fabbrica di semiconduttori in Europa costa il 33% in più di una fabbrica in Corea del Sud, 43% in più che in Taiwan e 63% in più che in Cina. La maggior parte del maggior costo (81% per la Corea, 80% per il Taiwan e 75% per la Cina) è dovuto agli aiuti di stato che questi stati asiatici danno grazie alla loro forte attenzione per la politica industriale. (Aurik, et al., 2021) Questo crea inevitabilmente delle alte barriere all'ingresso per le imprese europee, è pertanto fondamentale un intervento che permetta alle imprese europee di poter competere con condizioni simili rispetto alle imprese rivali. Sembra quindi che l'Europa stia provando a colmare il ritardo, che non è solamente economico ma anche politico e lo sta facendo tornando a fare politica industriale.

# STRATEGIA

## 15. Strategia per l'Italia

L'ultimo capitolo di questo elaborato è dedicato direttamente alla strategia italiana. Se la situazione Europea non è incoraggiante, i dati italiani preoccupano ancora di più. Nel 2001 l'Italia era 19% sopra la media UE per il PIL pro capite, nel 2019 era invece del 6.18% sotto la media UE (eurostat, 2022). In particolare in questo periodo l'Italia ha registrato un calo del PIL pro capite del 3.9%, nello stesso periodo la Gran Bretagna ha registrato una crescita 19.38% e la Germania una crescita del 22.47% (eurostat, 2022). Riguardo al settore dei semiconduttori la capacità produttiva dell'Italia "è cresciuta in volume del 32% tra 2015 e 2020 e del 20% in valore, a fronte di una crescita del fatturato globale del 31% nello stesso periodo" (cdp, 2022). Per rafforzare questa posizione il "Governo italiano è intervenuto tramite il PNRR, in cui le misure a potenziale beneficio del settore valgono fino a 1,1 miliardi di euro, e attraverso un fondo istituito presso il MISE, con una dotazione di 150 milioni per il 2022 e 500 milioni all'anno dal 2023 al 2030" (cdp, 2022). Il settore dei semiconduttori è fondamentale sia per la crescita economica dei prossimi anni che per la sicurezza nazionale. L'Italia, che è ancora il secondo paese manifatturiero in Europa, non può che ritenere il settore dei semiconduttori una priorità. L'Italia ha la necessità di acquisire un ruolo rilevante nel settore dei semiconduttori e dal momento che non ha possibilità di raggiungere l'autosufficienza, per motivi legati semplicemente alle economie di scala, la strategia vincente dovrebbe essere quella di diventare un centro di eccellenza in almeno uno dei nodi principali della filiera, sulle orme di quanto fatto in Olanda con ASML. Con questa posizione di leadership l'Italia avrebbe un potere negoziale ed una forza geopolitica che le permetterebbero di stringere alleanze solide che garantiscano approvvigionamento e quindi sicurezza.

Per raggiungere questi obiettivi l'Italia deve pianificare un deciso intervento di politica industriale, con il supporto europeo, che non si esaurisca solo in un intervento una tantum ma che diventi un intervento sistematico. L'Italia dovrebbe quindi pianificare un piano di investimenti che non siano a pioggia ma mirati al raggiungimento di una posizione dominante in determinati nodi della filiera e al consolidamento delle posizioni già esistenti. L'Italia deve agire su molteplici fronti, in primo luogo la ricerca. Sostengo l'idea di realizzare un grande centro di ricerca nazionale, che possa diventare il punto di riferimento per la rete di ricerca nazionale e che possa favorire l'attrazione di talenti. D'altro canto la ricerca non può avere buoni risultati senza un comparto industriale forte. È quindi necessario incentivare lo sviluppo di nuove grandi imprese, consolidare la posizione delle imprese già esistenti ed attrarre investimenti diretti esteri. È importante che le imprese straniere non vadano a fare concorrenza alle imprese nazionali, ma che si posizionino in quei segmenti in cui le imprese Italiane non possono competere o scelgono di non competere. L'attrazione di investimenti esteri è fondamentale per sviluppare un settore industriale forte e all'avanguardia che possa innescare un circolo virtuoso di crescita e attrazione dei talenti, ma anche favorire la crescita del mercato tecnologico Italiano ed europeo.

Un'ulteriore aspetto importante è quello delle connessioni, un settore complesso e vasto come questo ha bisogno di connessioni forti tra università, imprese e regolatori. È importante quindi incentivare direttamente questa tendenza per favorire il trasferimento tecnologico rapido, seguendo l'esempio di PoliFab, il centro di ricerca e sviluppo di Politecnico di Milano e STmicroelectronics. Oltre che tra università e imprese è importante che ci sia stretta connessione con i regolatori, per facilitare politiche rapide ed efficaci, in un settore complesso ed in continua evoluzione. Da seguire in questo ambito il lavoro di ASTRID. Sotto un altro punto di vista bisognerebbe favorire la concorrenza delle imprese secondo il senso etimologico del termine, ovvero *concurrere*: correre insieme, cooperare. La cooperazione è fondamentale per la crescita del settore, andrebbe quindi favorita con un tavolo di confronto tra tutte le imprese italiane del settore, centri di ricerca ed esponenti del governo.

È senz'altro indispensabile una forte collaborazione a livello europeo. L'Europa a mio avviso oltre a favorire l'accesso al capitale, con finanziamenti a fondo perduto, dovrebbe avere un ruolo fondamentale dal punto di vista della sicurezza di approvvigionamento. Di recente si è parlato della possibilità di costruire una grande fabbrica europea per chip sotto 10nm. Una fabbrica di chip di sotto i 10nm, non farebbe concorrenza alle altre imprese europee di semiconduttori che producono solo chip maggiori di 14nm, favorirebbe l'attrazione di talenti e soprattutto garantirebbe un livello minimo di approvvigionamento per soddisfare quantomeno le esigenze di sicurezza nazionale. La strada europea è l'unica percorribile in questo ambito perché gli stati membri non possono sostenere le spese necessarie per una fabbrica così avanzata, pertanto l'idea di costruire una fabbrica europea di chip sotto i 10nm potrebbe essere vincente e potrebbe essere utilizzato il CERN di Ginevra come modello.

Un'ulteriore riflessione merita il mercato dei semiconduttori. Nell'opinione di alcuni l'Italia dovrebbe limitarsi a produrre chip discreti o analogici, che sono quelli più richiesti dal mercato europeo. A mio avviso quest'ottica di pensiero è miope, l'industria ed il mercato dei chip vanno considerati su scala globale e non ha senso concentrarsi esclusivamente sull'Europa. Inoltre, sebbene questo tipo di chip rappresenti ancora una buona fetta del mercato, la domanda di chip all'avanguardia ha un tasso di crescita maggiore rispetto ai chip di tecnologie più arretrate. Limitarsi alla produzione di chip discreti e analogici a lungo termine aumenterebbe il divario con gli stati e le imprese leader del settore. Inoltre la nascita di nuove imprese operanti nei nodi più all'avanguardia potrebbe favorire un circolo virtuoso che stimoli la nascita e la crescita di imprese operanti nel settore high-tech, acquirenti di semiconduttori all'avanguardia.

# CONCLUSIONE

## 16. Conclusion

L'analisi del settore dei semiconduttori è stata fatta seguendo il paradigma condizioni di base – struttura – condotta delle imprese – performance. Ciò che contraddistingue questo settore è innanzi tutto l'enorme complessità della tecnologia, per la produzione di un chip sono necessari in media 1000 passaggi che vengono svolti in un periodo di circa 2 mesi. Il processo produttivo può essere diviso in tre fasi: design, fabbricazione e la fase di assemblaggio, test e imballaggio. I prodotti sono inoltre altamente differenziati, sono presenti circa 30 tipi di chip, che possono essere raggruppati in tre categorie: la prima costituita da chip logici, la seconda da quelli di memoria e la terza è una categoria residuale che comprende chip discreti, analogici o altro. I chip sono distinti tra loro anche in base alla dimensione, in particolare i chip più piccoli sono quelli che offrono prestazioni migliori. La dimensione dei chip si misura in nanometri e varia da 180nm per i chip di potenza usati nel settore industriale a i chip logici che misurano 5/7nm e vengono utilizzati principalmente per smartphone e computer. Per sostenere gli alti costi del processo produttivo le imprese di questo settore tendono a specializzarsi e ad avere un basso livello di integrazione verticale, in questo modo possono sfruttare al meglio le economie di scala e ridurre i costi medi unitari. In particolare distinguiamo tra imprese fabless, che si dedicano alla fase di design ed hanno un'alta intensità di conoscenza, foundry, che si specializzano sulla fase di fabbricazione e sono caratterizzate da un'alta intensità di capitali, e imprese dedicate all'ultima fase ovvero quella di assemblaggio test e imballaggio. Queste imprese hanno livelli di conoscenza e di capitali più bassi ed il loro business è caratterizzato dall'alta intensità di manodopera. Nell'analisi di questo settore è stata considerata anche la distribuzione globale delle imprese, non inclusa nel paradigma, ma di fondamentale importanza in questo caso specifico. La produzione di semiconduttori è fortemente concentrata in poche aree geografiche ovvero Stati Uniti, Corea del Sud, Giappone, Taiwan, Cina ed Europa. La specializzazione si rispecchia in una filiera estremamente segmentata caratterizzata da molte strozzature, in cui diversi nodi fondamentali sono controllati interamente da poche imprese situate in alcuni casi in uno o due stati. Un'ulteriore aspetto importante è l'analisi delle barriere all'entrata. Queste ultime sono determinate principalmente da fattori tecnologici, economie di scala e interventi dei governi. Le barriere sono più alte nei segmenti della filiera caratterizzati da un livello tecnologico avanzato, questi sono anche i segmenti in cui la concentrazione è più alta e le imprese hanno più capacità di influenzare il prezzo.

Dal punto di vista delle performance l'industria dei semiconduttori sta attraversando un periodo di crescita e prosperità, ma allo stesso tempo non riesce a soddisfare le esigenze del mercato. La forte concentrazione e specializzazione geografica insieme alle alte barriere all'entrata sono le principali cause della crisi dei semiconduttori. In particolare le numerose strozzature della filiera rendono l'intero settore vulnerabile, perché l'interruzione della produzione di una manciata di imprese provoca enormi danni a tutta la filiera. A causa della specializzazione e della forte concentrazione i nodi fondamentali sono controllati da poche imprese e

allo stesso tempo sono difficilmente replicabili a causa delle alte barriere all'entrata. La pandemia, insieme a calamità naturali o decisioni politiche, ha causato l'interruzione della produzione di alcuni nodi, danneggiando l'intera filiera.

L'Europa sta seguendo un andamento opposto rispetto al resto del settore, ha visto infatti dimezzare la propria quota di mercato negli ultimi 20 anni. La partecipazione italiana al settore dei semiconduttori è pressoché limitata ad STmicroelectronics. Dal punto di vista strategico l'Italia deve ritenere il settore dei semiconduttori una priorità, sia dal punto di vista economico che di sicurezza nazionale. È stato dimostrato che nessun paese può ambire a raggiungere l'autosufficienza in questo settore, pertanto la strategia Italiana dovrebbe essere quella di specializzarsi in un numero ristretto di nodi, cercando di raggiungere una posizione dominante. Solo in questo modo si potrebbero sfruttare le economie di scala e raggiungere un livello tecnologico competitivo. Per farlo l'Italia deve agire su più fronti, ovvero potenziare la ricerca e favorire lo sviluppo di nuove grandi imprese con finanziamenti e agevolazioni, nonché rafforzare le connessioni tra università e impresa. Inoltre l'Italia deve accogliere finanziamenti diretti esteri che vadano a collocarsi nei segmenti in cui le imprese Italiane non competono, favorendo un circolo virtuoso di attrazione dei talenti e attrazione di capitali. Infine, è di estrema importanza impegnarsi nello sviluppo di solide alleanze che possano rafforzare la catena di approvvigionamento, in particolare con i paesi europei in ambito di sicurezza nazionale. In conclusione l'analisi fin qui svolta porta a sostenere che l'Italia non possa affidare le sorti di questo settore al mercato ma che debba programmare un intervento di politica industriale che sia sistematico e non occasionale, favorendo lo sviluppo di un nuovo paradigma che dia più importanza alla politica industriale in modo da soddisfare le necessità della propria comunità e di competere con le aggressive politiche degli stati rivali.

# Indice delle figure

<i>Figura 1 – Da sinistra verso destra: la sabbia da cui si ricava il silicio; il silicio viene fuso per formare il lingotto; lingotto monocristallino di silicio.</i>	5
<i>Figura 2 – Il lingotto viene tagliato per formare i wafer di silicio</i>	6
<i>Figura 3 – Da sinistra verso destra: applicazione del fotoresistente; esposizione; sviluppo della resistenza.</i>	7
<i>Figura 4 – Da sinistra verso destra: impiantazione ionica; rimozione del fotoresistente; l'ultima immagine sulla destra rappresenta una piccola porzione del wafer dove un singolo transistor verrà realizzato, la regione verde rappresenta il silicio dopato.</i>	7
<i>Figura 5 – Sulla sinistra la fase di incisione e sulla destra la rimozione del fotoresistente.</i>	8
<i>Figura 6 – L'immagine seguente permette di osservare il susseguirsi di processi di litografia, deposizione di materiali e incisione tramite processi chimici necessari per la creazione di un transistor.</i>	8
<i>Figura 7 – Da sinistra verso destra: il transistor quasi completo prima della galvanotecnica; il processo di galvanotecnica; il transistor dopo la galvanotecnica.</i>	9
<i>Figura 8 – Da sinistra verso destra: pulizia meccanica per la rimozione del rame in eccesso; transistor le sole tre aree di rame necessarie per la connessione; strati di connessione sopra i transistor.</i>	10
<i>Figura 9 – Da sinistra verso destra: il wafer viene testato interamente; il wafer viene tagliato in pezzi chiamati dadi; i chip vengono selezionati in base al risultato del test.</i>	11
<i>Figura 10 – Da sinistra verso destra: singolo dado prima dell'assemblaggio; assemblaggio; chip dopo l'assemblaggio.</i>	11
<i>Figura 11 – Da sinistra verso destra: il chip viene nuovamente testato singolarmente; chip con le stesse caratteristiche vengono raggruppati; prodotto finito pronto per la consegna.</i>	11
<i>Figura 12 - Dimensione del mercato di ciascuna categoria di chip secondo i dati del 2019</i>	12
<i>Figura 13 - Diminuzione del grado di integrazione verticale</i>	15
<i>Figura 14 – I quattro modelli di business (IDM, Fabless, Foundries e OSAT) vengono messi a confronto in base alla percentuale di ricavi di gross margin, R&amp;D, capex e operating cash flow</i>	17
<i>Figura 15 - Dimensione del mercato dei segmenti della filiera produttiva</i>	18
<i>Figura 16 – Il grafico a sinistra illustra la percentuale di ricavi generata dalla vendita dei chip da parte imprese con modello di business IDM o fabless; il grafico a destra mostra come sono distribuite globalmente le imprese in base ai quattro modelli di business (IDM, fabless, foundry, OSAT) in base ai ricavi ottenuti dalla vendita di chip.</i>	19
<i>Figura 17 – Distribuzione globale dei ricavi generati dal design di chip, per ogni tipo di chip.</i>	20
<i>Figura 18 – Distribuzione globale dei ricavi generati dalla fabbricazioni di chip, per ogni tipo di chip.</i>	21
<i>Figura 19 – Distribuzione globale della capacità produttiva in base al tipo di chip fabbricati</i>	21
<i>Figura 20 – Distribuzione globale del fatturato delle imprese di assemblaggio, test e imballaggio.</i>	22
<i>Figura 21 – Distribuzione globale delle imprese che producono attrezzature per la produzione di semiconduttori in base al fatturato.</i>	23
<i>Figura 22 – Distribuzione globale delle imprese che si occupano di produzione e manipolazione dei wafer in base al fatturato.</i>	24
<i>Figura 23 – Distribuzione globale delle imprese che producono impiantatori ionici in base al fatturato.</i>	24
<i>Figura 24 – Distribuzione globale delle imprese che producono i diversi tipi di strumenti di litografia in base al fatturato</i>	25
<i>Figura 25 – Distribuzione globale delle imprese che producono i diversi strumenti di deposizione in base al fatturato</i>	26
<i>Figura 26 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti di incisione e pulizia in base al fatturato</i>	27
<i>Figura 27 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti per la planarizzazione chimica meccanica in base al fatturato.</i>	28
<i>Figura 28 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti necessari per il controllo di processo in base al fatturato</i>	28

<i>Figura 29 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti necessari per l’assemblaggio e l’imballaggio in base al fatturato</i>	29
<i>Figura 30 – Distribuzione globale delle imprese che producono strumenti necessari per la fase di test in base al fatturato.</i>	30
<i>Figura 31 – Estrazione di materiali grezzi per nazione</i>	32
<i>Figura 32 – Distribuzione degli investimenti in ricerca e sviluppo da parte delle imprese del settore in miliardi di dollari americani</i>	33
<i>Figura 33 – Percentuale dei ricavi di vendita destinata a ricerca e sviluppo per Stati Uniti, Europa, Taiwan, Giappone, Cina, Corea del Sud e resto del mondo.</i>	34
<i>Figura 34 – Joint Ventures tra imprese cinesi e statunitensi tra il 2014 e il 2018</i>	45

# Bibliografia

- AlixPartners. (2021). *SEMICONDUCTOR SHORTAGES TO COST THE AUTO INDUSTRY BILLIONS*. Tratto da <https://www.alixpartners.com/media-center/press-releases/press-release-shortages-related-to-semiconductors-to-cost-the-auto-industry-210-billion-in-revenues-this-year-says-new-alixpartners-forecast/>
- ANFIA Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica. (2021). *Osservatorio sulla componentistica automotive 2021*. Tratto da [https://www.anfia.it/allegati\\_contenuti/DOC/261\\_RAPPORTO%202021.PDF](https://www.anfia.it/allegati_contenuti/DOC/261_RAPPORTO%202021.PDF)
- ANSA. (2021). *Subaru: stop a produzione in Indiana per carenza chip*. Tratto da [https://www.ansa.it/canale\\_motori/notizie/industria/2021/04/20/subaru-stop-a-produzione-in-indiana-per-carenza-chip\\_77ff903f-28af-4dfa-9550-6955a47ccdd0.html](https://www.ansa.it/canale_motori/notizie/industria/2021/04/20/subaru-stop-a-produzione-in-indiana-per-carenza-chip_77ff903f-28af-4dfa-9550-6955a47ccdd0.html)
- Aurik, J., Gerdemann, D., Hales, M., Hertel, G., Heinrich, A., & Hubner, D. (2021). *Europe's urgent need to invest in leading-edge semiconductor ecosystem*. KEARNEY. Tratto da <https://www.kearney.com/documents/20152/272966470/Europes+urgent+need+to+invest+in+a+leading+edge+semiconductor+ecosystem.pdf/f3ec1e30-b8ff-b367-417c-62cf476342ea?t=1636582354000>
- Bureau of Industry and Security - U.S. Department of Commerce. (s.d.). *CBC FAQs - Entity List FAQs*. Tratto da [https://www.bis.doc.gov/index.php/cbc-faqs/cat/36-entity-list-faqs-2#faq\\_283](https://www.bis.doc.gov/index.php/cbc-faqs/cat/36-entity-list-faqs-2#faq_283)
- Capri, A. (2020). *SEMICONDUCTORS AT THE HEART OF THE US-CHINA TECH WAR*. HINRICH FOUNDATION. Tratto da <https://research.hinrichfoundation.com/hubfs/Capri%20Report%20-%20Jan%202020/Hinrich%20Foundation%20report%20-%20US-China%20tech%20war%20and%20semiconductors%20-%20January%2031%202020.pdf>
- cdp. (2022). *La crisi dei semiconduttori: cosa succede?* Tratto da [https://www.cdp.it/resources/cms/documents/CDP\\_Brief\\_La\\_crisi\\_dei\\_semiconduttori\\_cosa\\_succede.pdf](https://www.cdp.it/resources/cms/documents/CDP_Brief_La_crisi_dei_semiconduttori_cosa_succede.pdf)
- Chang, H.-J. (2014). *Cattivi samaritani. Il mito del libero mercato e l'economia mondiale*.
- Draghi, M. (2021). Comunicazioni del Presidente Draghi al Senato in vista del Consiglio europeo del 21 e 22 ottobre. Tratto da <https://www.governo.it/it/articolo/comunicazioni-del-presidente-draghi-al-senato-vista-del-consiglio-europeo-del-21-e-22>
- ELES SPA. (s.d.). Tratto da [eles.com](https://www.eles.com/): <https://www.eles.com/>
- eurostat. (2022). *Real GDP per capita*. Tratto da [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg\\_08\\_10/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_08_10/default/table?lang=en)
- Forbes. (2021). *How Badly Will The Chip Shortage Impact Apple?* Tratto da [forbes.com](https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2021/08/03/how-badly-will-the-chip-shortage-impact-apple/?sh=656b0e294af6): <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2021/08/03/how-badly-will-the-chip-shortage-impact-apple/?sh=656b0e294af6>
- GlobalWafers Singapore Pte. Ltd. (s.d.). Tratto da [gw-semi.com](https://www.gw-semi.com/): <https://www.gw-semi.com/>
- Greco, F. (2021). *Stellantis, la crisi dei microchip blocca il polo di Melfi a settembre*. Tratto da [ilsole24ore.com](https://www.ilsole24ore.com): <https://www.ilsole24ore.com/art/la-crisi-microchip-blocca-polo-stellantis-melfi-mese-settembre-AEdqUaf>
- Intel Corporation. (2012). *Making of a Chip*. Tratto da [download.intel.com/newsroom/kits/chipmaking/pdfs/Sand-to-Silicon\\_22nm-Version.pdf](https://download.intel.com/newsroom/kits/chipmaking/pdfs/Sand-to-Silicon_22nm-Version.pdf)
- Khan, S. M., Mann, A., & Peterson, D. (2021). *The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness*. CSET Center for Security and Emerging Technology. Tratto da [cset.georgetown.edu/publication/the-semiconductor-supply-chain/](https://cset.georgetown.edu/publication/the-semiconductor-supply-chain/)
- Kleinhans, J.-P., & Baisakova, N. (2020). *The global semiconductor value chain. A technology primer for policy maker*. Stiftung Neue Verantwortung. Tratto da [https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the\\_global\\_semiconductor\\_value\\_chain.pdf](https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf)
- Leonard, M. (2021). Tratto da [supplychaindive.com](https://www.supplychaindive.com/news/automotive-semiconductor-alliance-innovation-biden-production-manufacturing-ihs/597943/): <https://www.supplychaindive.com/news/automotive-semiconductor-alliance-innovation-biden-production-manufacturing-ihs/597943/>
- LPE. (s.d.). Tratto da [lpe-epi.com](http://www.lpe-epi.com/default.aspx): <http://www.lpe-epi.com/default.aspx>
- Meridionale Impianti. (s.d.). Tratto da [merimp.com](https://www.merimp.com/?lang=it): <https://www.merimp.com/?lang=it>



- Nepori, A. (2021, giugno). *Ok, ma cosa sono i semiconduttori?* Tratto da Italian.Tech: [https://www.italian.tech/2021/06/16/news/ok\\_ma\\_che\\_cosa\\_sono\\_i\\_semiconduttori\\_-306308353/](https://www.italian.tech/2021/06/16/news/ok_ma_che_cosa_sono_i_semiconduttori_-306308353/)
- Pezzali, R. (2020, Giugno). *Come funziona un processore per computer. Tutto quello che devi sapere su GHz, 64 bit, cache e clock.* Tratto da DDAY.it: <https://www.dday.it/redazione/35794/come-funziona-un-processore-per-computer-tutto-quello-che-devi-sapere-su-ghz-64-bit-cache-e-clock>
- PVA Italy srl. (s.d.). Tratto da pva-italy.com: <https://www.pva-italy.com/it/>
- Sapea. (s.d.). Tratto da sapea.com: <https://www.spea.com/it/>
- Sapio. (s.d.). Tratto da grupposapio.it: <https://www.grupposapio.it/il-gruppo/>
- Scherer, F. M. (1985). *Economia industriale, struttura del mercato, condotta delle imprese e performance.*
- Scognamiglio Pasini, C. (2006). *Economia industriale, economia dei mercati imperfetti.*
- SIA Semiconductor Industry Association. (2022, Gennaio). Tratto da <https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-increase-23-5-year-to-year-in-november-industry-establishes-annual-record-for-number-of-semiconductors-sold/>
- STMicroelectronics. (s.d.). Tratto da st.com: [https://www.st.com/content/st\\_com/en.html](https://www.st.com/content/st_com/en.html)
- STMicroelectronics. (2013). *Profilo della Società.* Tratto da [https://www.stmicroelectronics.com.cn/content/ccc/resource/corporate/company/company\\_presentati on/09/31/f3/78/aa/d8/45/f9/profilo\\_it.pdf/files/profilo\\_it.pdf/jcr:content/translations/en.profilo\\_it.pdf](https://www.stmicroelectronics.com.cn/content/ccc/resource/corporate/company/company_presentati on/09/31/f3/78/aa/d8/45/f9/profilo_it.pdf/files/profilo_it.pdf/jcr:content/translations/en.profilo_it.pdf)
- Technoprobe. (s.d.). *Technoprobe.com.* Tratto da <https://www.technoprobe.com/it/>
- Togt, O., Fischer, N., & Winnink, J. (2016). *Study on the changing role of intellectual property in the semiconductor industry – including non-practicing entities : final report.* Commissione europea, Direzione generale della Società dell'informazione e dei media. Tratto da <https://data.europa.eu/doi/10.2759/72388>
- Varas, A., Varadarajan, R., Goodrich, J., & Yinug, F. (2021). *Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era.* Boston Consulting Group (BCG); Semiconductor Industry Association (SIA). Tratto da [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021\\_1.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf)
- Wayland, M. (2021). *Chip shortage causes Ford to slash vehicle production at several plants in July.* Tratto da <https://www.cnn.com/2021/06/30/chip-shortage-causes-ford-to-cut-vehicle-production-at-several-plants.html#:~:text=The%20cuts%20are%20the%20latest,year%20because%20of%20the%20proble m.>