



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

---

Corso di Laurea Magistrale o Specialistica in scienze economiche e finanziarie

**ANALISI DEL SETTORE DEI SEMICONDUTTORI**

**SEMICONDUCTOR INDUSTRY ANALYSIS**

Relatore:

Caterina Lucarelli

Tesi di Laurea di:

Anthony Paoletti

Anno Accademico 2022 – 2023

Indice

Introduzione

Capitolo 1: Dinamiche competitive

- 1.1 Barriere all'entrata
- 1.2 Concentrazione di imprese nel settore
- 1.3 La capacità produttiva
- 1.4 Stabilità delle quote di mercato

Capitolo 2: Fattori esogeni

- 2.1 Evoluzione demografica
- 2.2 Sviluppi normativi
- 2.3 Fattori macroeconomici
- 2.4 Sviluppi tecnologici
  - 2.4.1 I computer quantistici
  - 2.4.2 La nanotecnologia

Capitolo 3: Analisi dei principali players

- 3.1 Analisi dei multipli
- 3.2 Analisi finanziaria
- 3.3 Analisi dei rischi

Conclusione

Appendice

Bibliografia

Sitografia

## **INTRODUZIONE**

L'industria dei semiconduttori è un settore in rapida evoluzione che sta diventando sempre più importante per l'economia globale. I semiconduttori sono utilizzati in una vasta gamma di prodotti, tra cui computer, smartphone, automobili, elettrodomestici e apparecchi medici. L'industria dei semiconduttori è cresciuta rapidamente negli ultimi anni, e si prevede che continuerà a crescere nel prossimo futuro. In questa tesi verranno illustrati in maniera approfondita le trasformazioni che coinvolgono il settore dei semiconduttori, in particolare nel primo capitolo verranno esposte le dinamiche competitive tra le aziende, dalle barriere all'entrata, alla stabilità delle quote di mercato, passando per la capacità e concentrazione di settore. Nel secondo capitolo si illustreranno le varie influenze esterne che risultino sensibili alla domanda di semiconduttori, come demografia, normative, fattori macroeconomici e soprattutto gli sviluppi tecnologici. Nel terzo ed ultimo capitolo verranno selezionati un insieme di aziende con caratteristiche simili, in modo da analizzare i rendimenti e rischi di ciascuna di esse, cercando di definire quali azioni siano sopravvalutate e quali sottovalutate. Nell'analisi si è considerato anche un indice di riferimento del mercato azionario e i titoli privi di rischio, confrontando tali valori con quelli del peer group e riuscire a capire quali investimenti sono più convenienti in considerazione del rendimento e rischio assunto.

# ANALISI DEL SETTORE DEI SEMICONDUTTORI

## CAPITOLO 1: DINAMICHE DI MERCATO

### 1.1 BARRIERE ALL'INGRESSO

Per semiconduttori si intendono quei materiali come silicio, germanio, boro o altri elementi che vengono utilizzati per la creazione di dispositivi elettronici e microelettronici come il transistor, diodi, celle solari o microprocessori.

In particolare, si fa riferimento al transistor<sup>1</sup> (dall'inglese "Transfer" e "Resistor" ovvero trasferimento e opposizione alle cariche elettriche) è un dispositivo a semiconduttore che serve sia ad amplificare il segnale d'ingresso sia a svolgere la funzione di interruttore assumendo lo stato logico 1 (acceso) oppure 0 (spento). Il meccanismo di accensione e spegnimento dipende dalla tensione elettrica, ad esempio se in un certo istante  $t$  molto piccolo passa corrente e l'interruttore si considera acceso mentre se non passa corrente sempre in un certo istante  $t$  piccolo, viene considerato 0.

Tanti transistor messi assieme danno origine al microchip o circuiti integrati che sono alla base di tutte le tecnologie che utilizziamo nella nostra vita quotidiana.

Tra le aziende di questa industria ci sono: Nvidia (NVDA), Broadcom (AVGO), Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC), Intel (INTC), Qualcomm Incorporated (QCOM), Advanced Micro Devices (AMD), Texas instruments incorporated (TXN), Samsung Electronics e Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC).

Queste aziende operano in un ambiente competitivo che presenta un' elevata barriera all'entrata per varie ragioni. In primo luogo, occorre far fronte ad un certo costo del capitale, infatti, nello svolgere

---

<sup>1</sup> Per la definizione si rimanda all'enciclopedia Treccani

questo tipo di attività sono richieste ingenti risorse economiche per acquistare macchinari e impianti costosi per via della specificità delle funzioni e delle precisioni richiesta. Inoltre, certi materiali devono sottostare a certe temperature di lavorazione e l'ambiente deve essere molto pulito perché qualsiasi piccola particella potrebbe compromettere il funzionamento del dispositivo. Le aziende già presenti sul mercato soprattutto quelle di grande dimensione, sono avvantaggiate perché possono beneficiare dell'economia di scala, minimizzando i costi di produzione e andando a produrre più unità di prodotto in modo da spalmare i costi fissi su quantità maggiori; queste aziende possono offrire un prezzo più basso rispetto ai competitors. In secondo luogo, le modalità di accesso ai fornitori, è un aspetto molto importante, in quanto si riceve del materiale grezzo e poi si procede al processo di lavorazione che può richiedere diversi mesi e centinaia di passaggi prima di ottenere un prodotto finito. L'approvvigionamento in tempo è essenziale per questo tipo di aziende e una sua mancanza può portare ad una chiusura della produzione, come successo negli ultimi anni con la crisi dei semiconduttori che ha colpito questo settore per effetto della pandemia e delle misure restrittive adottate in tal senso che hanno ridotto in modo considerevole l'offerta di semiconduttori.

***Tabella 1.1 Classifica globale dei principali paesi produttori di silicio***

Rank	Country	Silicon productions (thousands of tons per year)
1	China	6000
2	Russia	580
3	Brazil	390
4	Norway	350
5	United States	310

*Fonte: USGS 2021*

Il materiale più utilizzato come semiconduttore è il silicio il cui principale esportatore è la Cina seguita a distanza da Russia e Brasile, come si vede nella tabella sopra. È importante notare che seppur il silicio è ancora il materiale predominante nel settore, l'utilizzo degli altri materiali

semiconduttori sta diventando sempre più comune, soprattutto in applicazioni specifiche che richiedono prestazioni superiori rispetto al silicio, come nel caso dei dispositivi ad alta temperatura, applicazioni a banda larga o sensori utilizzati in ambito automobilistico.

In terzo luogo, un vantaggio competitivo che le aziende possono detenere nel corso degli anni è la padronanza tecnologica, infatti le aziende già presenti hanno perfezionato nel tempo l'impianto tecnologico a disposizione, ottimizzando le risorse, sfruttando al massimo le potenzialità e riducendo al minimo i costi, mentre per un nuovo entrante richiederebbe anni di esperienza. Inoltre, con l'avanzamento tecnologico si lavora sempre di più su scale nanometriche, che necessitano di un notevole apporto tecnologico all'avanguardia e il tempo impiegato nel perfezionamento e degli investimenti in ricerca e sviluppo risultano determinanti nel lungo periodo. Per di più, queste aziende possono avere un vasto portafoglio di brevetti e proprietà intellettuale, che possono rendere difficile per le nuove aziende sviluppare tecnologie simili o competere sul mercato.

Infine, in questo settore le relazioni esistenti con i clienti stretti nel tempo attraverso rapporti commerciali e di partnership consolidate permette di conseguire ottimi volumi di vendite, rendendo molto difficile per le aziende entranti scalzare i rapporti esistenti o trovare nuovi clienti di pari livello. Sono un esempio l'azienda TSMC che tra i suoi numerosi clienti conta la Apple, la Ford, la Volkswagen e Tesla, oppure Intel ha da tempo un solido rapporto con HP, Dell e Lenovo, per i quali produce i processori per PC.

## 1.2 CONCENTRAZIONE DI IMPRESE NEL SETTORE

Per quanto riguarda la concentrazione d'industria il mercato dei semiconduttori risulta frammentato essendoci numerose aziende che competono tra loro e hanno un potere limitato sui prezzi. Tuttavia, come in ogni settore ci sono imprese con maggiori possibilità d'investimento rispetto ad altre, che si traduce in un livello tecnologico più avanzato e questo offre un vantaggio competitivo sul mercato.

Queste aziende essendo più sviluppate da un punto di vista tecnologico hanno la possibilità di poter offrire prodotti all'avanguardia, acquisendo quote di mercato delle aziende che non riusciranno a stare al passo con l'innovazione. Per esempio, solo tre aziende saranno in grado di produrre i semiconduttori più avanzati: TSMC di Taiwan, Samsung della Corea del Sud e Intel degli Stati Uniti, con la capacità di costruire chips da 10 fino a 3 nm<sup>2</sup>. Per cui oltre alle barriere all'entrata che misurano quanto sia difficile per un potenziale competitore entrare nel settore, bisognerebbe misurare anche la capacità di investimenti in ricerca e sviluppo nel corso degli anni, in modo che i nuovi entranti siano in grado di mantenere e raggiungere l'apice di avanzamento tecnologico. Le aziende che riusciranno a farlo possono sfruttare la situazione, per aumentare i prezzi dei loro prodotti come successo con il colosso TSMC<sup>3</sup>, il quale anche per il rincaro del costo delle materie prime, ha deciso di aumentare del 10% i prezzi di vendita dei semiconduttori più avanzati e del 20% di quelli più semplici.

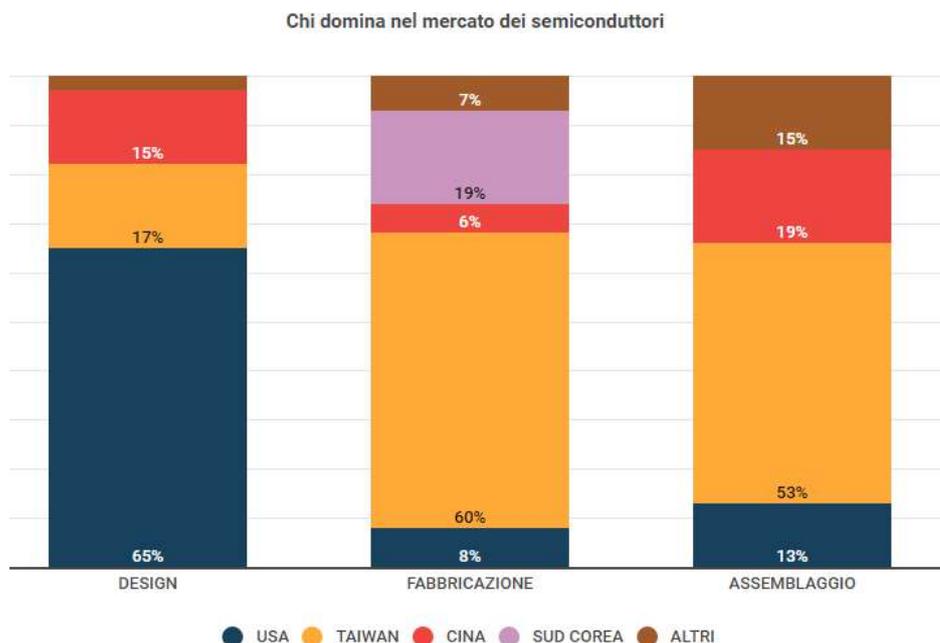
Nel breve periodo, visto il calo dell'offerta di semiconduttori, ha spinto molte aziende ad acquisire chip meno sofisticati per compensare la domanda, ma seguendo un approccio dinamico, ponendo l'orizzonte nei prossimi anni, nel medio-lungo periodo, si osserva che le barriere all'entrata si stanno alzando, andando a consolidare ulteriormente la posizione dominante di alcune imprese e aumentando la concentrazione.

---

<sup>2</sup> Si rimanda al sito [www.tsmc.com/dedicatedFoundry/technology/logic](http://www.tsmc.com/dedicatedFoundry/technology/logic)

<sup>3</sup> Si veda Bellomo S, Grosso guaio da Taiwan, Tsmc aumenta i prezzi dei chip fino al 20%, Il sole 24 ore (2021)

**Figura 1.1 Distribuzione geografica delle aree di produzione dei semiconduttori**



*Fonte: Truenumbers*

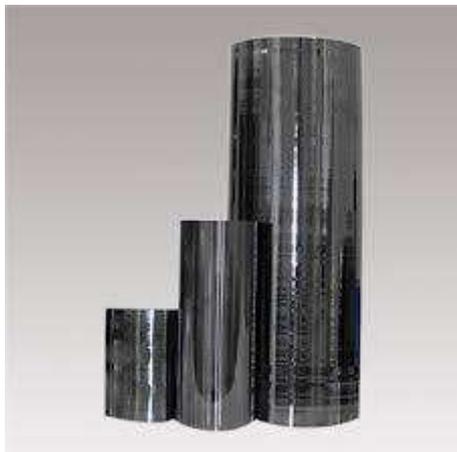
Da un punto di vista geografico il settore dei semiconduttori presenta una forte concentrazione, in particolare l'intera filiera produttiva è controllata e gestita principalmente da quattro Stati, ovvero Stati Uniti, Corea del Sud, Taiwan e Cina. Il processo produttivo può essere diviso in tre fasi.

La prima fase è il Design, in cui viene stabilito il ruolo del chip nel sistema, le componenti di cui ha bisogno e come queste si interconnettono tra loro, come trasferire il modello sviluppato su un supporto fisico e verificarne la validità. Come si vede dal grafico il 65% del design avviene negli USA grazie ad aziende come Nvidia, Qualcomm e AMD a cui seguono Taiwan con Realtek o Mediatek, e la Cina con Huawei.

La seconda fase è la fabbricazione, è la parte di costruzione vera e propria dei chip, attraverso un notevole numero di passaggi che vanno dal reperimento dei materiali contenente del silicio, alla sua lavorazione per renderlo più puro possibile fino a dargli la forma cilindrica chiamata lingotto (figura A). Questi lingotti vengono poi tagliati (figura B) in strati molto sottili e lisci detti wafer (figura C). Questi wafer poi vengono divisi in celle dette die (figura D), dove in ciascuna di esse viene riposto il

circuito elettrico progettato in fase di design, formando il chip. Più della metà della fabbricazione mondiale avviene a Taiwan, che si prevede crescerà fino al 70% tra il biennio 2022/2023 mentre una quota importante è della Corea del sud dove i chip rivestono un ruolo importante nell'export del paese, a tal proposito per via della crisi dei semiconduttori del 2020-2021 il governo coreano attraverso incentivi economici e riduzione della tassazione nei confronti di aziende come Samsung e Sk Hynix hanno deciso un investimento di circa 450 miliardi di dollari fino al 2030, che mirano ad aumentare la loro quota internazionale dei semiconduttori.

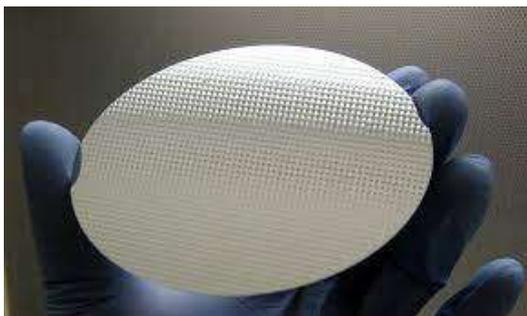
**Figura 1.2 Fasi principali nel processo di fabbricazione dei chip**



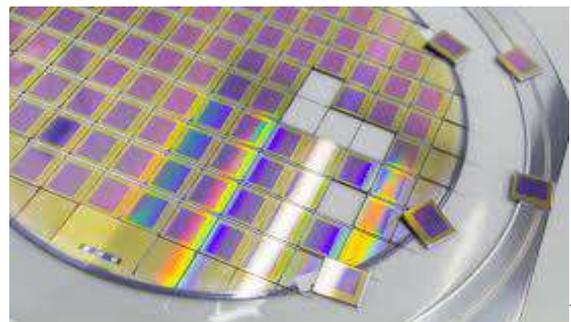
A



B



C



D

L'ultima fase è l'assemblaggio, in cui 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 serve insieme ad una ventola, a dissipare il calore. Come prima, anche qui più della metà dell'assemblaggio avviene in Taiwan, con una crescita prevista intorno al 60% nel 2023. Cina e Stati Uniti hanno la loro buona

fetta di mercato e le tensioni tra questi tre paesi sono dovute in parte al mercato mondiale dei microchip.

Complessivamente si può affermare che Taiwan è leader mondiale dei semiconduttori a cui seguono gli USA, e non è un caso che la maggior parte delle aziende sono di queste due nazioni.

### **1.3 LA CAPACITÀ PRODUTTIVA**

Negli ultimi anni la domanda di microchip è aumentata notevolmente in contrapposizione ad un'offerta non sufficiente a soddisfare i bisogni. Questo squilibrio ha generato la crisi dei semiconduttori scoppiata a seguito della pandemia per le seguenti ragioni.

In primo luogo, si è verificato un aumento della richiesta di dispositivi elettronici a seguito della pandemia che ha costretto milioni di persone a lavorare in smart-working, e agli studenti di frequentare le lezioni online spingendo la domanda di computer, tablet e cellulari.

In secondo luogo, è avvenuta una riduzione della produzione dei semiconduttori a causa della chiusura di molti impianti industriali per diversi mesi e dalle misure restrittive che tutt'ora limitano la produzione dei chip in alcune zone del mondo. Questa situazione ha causato un ritardo negli ordini previsti, ed inoltre, molte aziende per ridurre i costi di logistica adottano sempre più quello che viene chiamato metodo della gestione delle scorte "just in time" ovvero richiedono e acquisiscono microchip in relazione ai volumi di vendita previsti nel breve periodo avendo uno stretto rapporto con i fornitori. Le previsioni delle scorte durante la pandemia sono state sottovalutate e molte aziende non avendo più microchip sono state costrette ad interrompere la produzione in attesa di nuovo materiale disponibile. Questo errore di calcolo è stato battezzato dagli analisti con il nome di Chip Crunch.

In terzo luogo, le case automobilistiche come obiettivi di produzione di lungo termine si pongono lo sviluppo di auto elettriche ed ibride, infatti a seguito dell'incremento del costo del carburante e la

lotta al cambiamento climatico cercando di ridurre le emissioni di anidride carbonica presenti nell'atmosfera, ci si sta avviando sempre più in questa direzione. Tutto ciò comporta un aumento della domanda di microchip che è circa dieci volte superiore a quella che viene richiesta nelle auto tradizionali, e la produzione di auto elettriche è legata al 60% ai semiconduttori con un numero di chip dell'ordine delle migliaia. A ciò si aggiunge il progressivo sviluppo delle auto che va dall'ADAS (Sistema Avanzato di Assistenza alla Guida) ovvero quelle tecnologie elettroniche che assistono i conducenti nelle funzioni di guida e parcheggio come sensori o telecamere, e le automobili a guida autonoma, porteranno un crescente bisogno di semiconduttori da parte dell'industria.

Un quarto fattore rilevante è il nodo geopolitico tra Stati Uniti, Cina e Taiwan. Il paese del dragone vista la crescita avuta dagli anni 90' fino ad oggi, è diventata la seconda potenza mondiale dietro proprio agli americani e puntando alla prima posizione entro il 2030, preoccupando il governo USA e per tali ragioni è sorto uno scontro commerciale tra le due superpotenze. Dal maggio del 2020 il governo di Washington ha proibito a tutte le aziende di microchip in particolare l'azienda taiwanese TSMC, che usino strumentazioni, brevetti o software americani, di vendere i propri prodotti ad aziende cinesi. In risposta la Cina nel maggio 2023 ha richiesto alle grandi società cinesi impegnate in attività legate alla progettazione di infrastrutture informatiche interne di non utilizzare chip provenienti dall'azienda americana Micron Technology<sup>4</sup> perché, secondo loro, ci sarebbero dei seri rischi per la sicurezza nazionale. Sebbene il Dipartimento del Commercio statunitense abbia risposto che la mossa cinese contro l'azienda dell'Idaho è del tutto infondata, il titolo in borsa di Micron è sceso del 6% poiché tra le aree di vendita di cui la società crea ricavi la Cina pesa circa il 15 % del fatturato.

---

<sup>4</sup> Si veda Valsania M, Pechino gela gli Usa e vieta i chip di Micron, Il sole 24 ore (2023)

In aggiunta a quanto detto, la Cina è il paese che detiene maggiormente le cosiddette terre rare<sup>5</sup>, cioè un gruppo di 17 elementi chimici fondamentali ai fini dello sviluppo tecnologico ed elettronico odierno, visto che sono impiegati per la realizzazione di prodotti ormai essenziali nella quotidianità come televisori, pc, turbine eoliche, tablet e tanto altro. Il termine terre rare non sta a significare che gli elementi sono di scarsa disponibilità, ma per la loro bassa concentrazione in determinati luoghi e per tale ragione, i costi di estrazione sono maggiori, tanto che, non rende conveniente in alcune aree estrarre tali materiali. I giacimenti più importanti di terre rare sono concentrati in Cina con quasi il 37%, a cui seguono Brasile, Vietnam, Russia, India, Groenlandia, Australia e il continente africano. Proprio in Africa, in particolare nella Repubblica Democratica del Congo e in Kenya, la Cina sta attuando una strategia di crescita economica e politica, infatti negli ultimi quindici anni, la potenza cinese ha acquisito i diritti di estrazione in cambio di investimenti in infrastrutture (ferrovie, strade, ponti, ospedali) per non parlare dei prestiti finanziari a questi paesi. Tutto ciò ha permesso alla Cina di detenere una sorta di monopolio di queste risorse anche grazie al basso costo della manodopera che rende meno dispendioso il capitale necessario per l'estrazione.

Questi intrecci geopolitici possono causare crisi globali e provocare danni non solo all'industria dei semiconduttori, ma anche a tutto il settore tecnologico, come affermato dall'amministratore delegato di Nvidia, Jensen Huang in un'intervista<sup>6</sup> al Financial Times. In particolare, Huang sostiene che l'industria tech statunitense rischia un danno enorme dall'inasprimento della battaglia sui chip tra Stati Uniti e Cina, e che i limiti alle esportazioni statunitensi introdotte dall'amministrazione Biden per rallentare la produzione cinese ha impedito alle aziende della Silicon Valley di vendere i loro chip più avanzati in uno dei maggiori mercati mondiali.

---

<sup>5</sup> Si veda Bricco P, Pechino, la supremazia strategica sulle terre rare è destinata a durare, Il Sole 24 ore (2022)

<sup>6</sup> Si veda Murgia M, Bradshaw T, Waters R, Chip wars with China risk enormous damage to US tech, Financial Times (2023)

Infine, gli eventi meteorologici estremi come inondazioni, uragani e terremoti causati dal cambiamento climatico o da fenomeni naturali possono danneggiare le strutture e le fabbriche dei semiconduttori, interrompendo la catena di approvvigionamento. Questi disastri si verificano più frequentemente in zone particolarmente sensibili a questi fenomeni come Italia, Giappone, la California, paesi dell'Asia centrale, dell'Indocina e dell'America centrale. Inoltre, tali eventi spesso causano una carenza di risorse a disposizione per la produzione di chip come la siccità che ha colpito Taiwan nel 2021, una delle peggiori degli ultimi sessant'anni, costringendo molte aziende a interrompere la produzione; L'acqua è un elemento imprescindibile per le aziende produttrici di chip tanto che il suo utilizzo è superiore a centocinquanta tonnellate al giorno, necessarie per pulire le piastrine di supporto.

#### **1.4 LA STABILITÀ DELLE QUOTE DI MERCATO**

Le aziende che operano nell'industria dei semiconduttori tendono a mantenere o incrementare le proprie vendite nel corso del tempo; tuttavia, essendo un settore soggetto a cicli economici e a rapidi cambiamenti tecnologici, le imprese devono considerare nelle loro decisioni le innovazioni ed investimenti, le economie di scala e soprattutto adattarsi al mercato considerando i possibili rischi.

La stabilità delle quote di mercato varia nel medio-lungo periodo, con variazioni significative nel giro di decenni. Come già indicato precedentemente, il materiale più utilizzato per la costruzione dei chip è il silicio, che nel corso del tempo, la leadership di produzione è passato dalla prima metà del Novecento dal Brasile e India, per poi passare dagli anni Cinquanta al Sudafrica, mentre negli anni 60' agli Stati Uniti diventano il principale produttore grazie alle risorse della Mountain Pass in California. Proprio in quel periodo, la parte settentrionale della California prese il nome di Silicon Valley, letteralmente valle di silicio, per indicare al gran numero di innovatori di chip di silicio nella regione e alla forte concentrazione iniziale di fabbricanti di semiconduttori e di microchip (entrambi

basati sul silicio), che funsero da polo attrattore per l'insediamento successivo di aziende di computer, produttori di software e fornitori di servizi di rete. Dagli anni 90' il primato spetta alla Cina e più in generale verso il continente asiatico. Come si vede nella tabella la maggior parte delle aziende che si occupano della fabbricazione si trovano in Asia.

**Tabella 1.2 Le quote di mercato delle aziende leader nel settore dei semiconduttori**

RANKING	COMPANY	COUNTRY	MARKET SHARE
1	TSMC	Taiwan	56,1%
2	Samsung	South Korea	15,5%
3	UMC	Taiwan	6,9%
4	Globalfoundries	United States	5,8%
5	SMIC	China	5,3%
6	HuaHong group	China	3,3%
7	PSMC	Taiwan	1,6%
8	VIS	Taiwan	1,2%
9	Tower	Istrael	1,2%
10	Nexchip	South Korea	1%
11	Others		3%

*Fonte: Trendforce*

Le quote di mercato sono valutate in base ai ricavi dell'ultimo trimestre 2022 delle principali aziende che si occupano della fabbricazione dei chip.

Per quanto riguarda le performance delle singole fonderie nel 2022, il gruppo è stato guidato da TSMC, seguita da Samsung e UMC, Le quote delle prime cinque aziende complessivamente (in termini di fatturato) è stata dell'89,6%. La maggior parte delle fonderie in questi anni hanno dovuto affrontare un'calo di produzione per le restrizioni post-covid e aumenti del costo delle materie prime.

Solo TSMC è riuscita a ottenere un notevole guadagno grazie alla forte domanda di scorte da parte di Apple per i microchip utilizzati nei nuovi modelli di iPhone di quest'anno, riuscendo ad avere negli ultimi cinque anni una crescita media dei ricavi di oltre il 20% annuo di cui ben il 42% tra il 2021/2022. La crescita è stata attribuita principalmente alla produzione di chip inferiori ai 7 nanometri, facendo salire la quota del fatturato prossima al 60%. Per contro, Samsung<sup>7</sup> pur avendo negli ultimi anni una crescita media degli utili di circa 9,65%, nel primo trimestre del 2023 ha registrato il risultato peggiore degli ultimi 14 anni riducendo i ricavi del 19%. Il calo della domanda sui vari prodotti che l'azienda offre, ha spinto il management a ridurre la produzione nel breve termine per poi gradualmente aumentare nel medio-lungo periodo.

Per quanto riguarda UMC<sup>8</sup>, il suo fatturato è cresciuto del 30,8% rispetto all'anno precedente, principalmente grazie all'aumento del 21,3% del prezzo medio di vendita dal 2021 al 2022 a seguito della tanta domanda di wafer, in particolare quelli da 28 nanometri.

GlobalFoundries ha registrato per la prima volta dopo diversi anni un utile positivo grazie ad un aumento delle spedizioni di wafer per aver mantenuto un tasso di utilizzo della capacità produttiva superiore al 90%. All'ultimo posto del gruppo dei primi cinque, SMIC ha registrato negli ultimi anni una media di crescita dei ricavi di oltre il 30%, conseguendo per il 2022 circa 928 milioni di dollari. Tuttavia, nel primo trimestre del 2023 si è verificato un calo delle vendite dovuto all'abbondanza di prodotti che non si è riusciti a vendere per una domanda non adeguata all'offerta.

---

<sup>7</sup> Biagio S, Chip, la crisi investe Samsung - Peggior risultato dal 2009, Il sole 24 ore (2023)

<sup>8</sup> Si veda report annuale di United Microelectronics Corporation (2022)

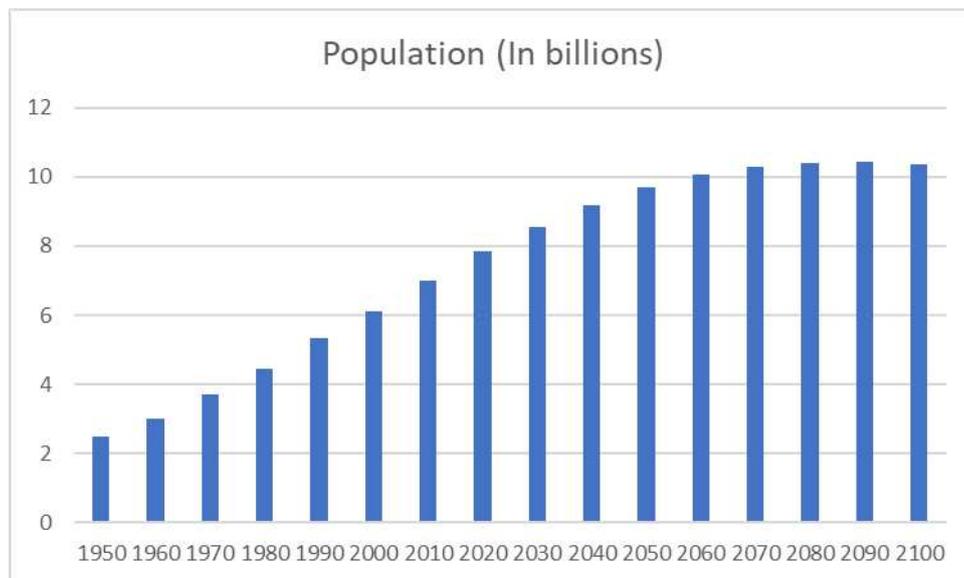
## CAPITOLO 2: I FATTORI ESOGENI

### 2.1 EVOLUZIONE DEMOGRAFICA

Uno dei fattori che possono influenzare la domanda di chip nel lungo periodo è la crescita demografica della popolazione. Ad oggi nel 2023 siamo oltre gli 8 miliardi di persone, di cui più della metà si trova nel continente asiatico, che insieme all'America del Nord, sono i continenti con una maggiore domanda di semiconduttori.

Secondo le stime nel 2040 la popolazione crescerà fino a nove miliardi mentre tra il 2050 e il 2060 la popolazione mondiale raggiungerà i dieci miliardi per poi stabilizzarsi nei decenni successivi.

*Figura 2.3 Crescita demografica*



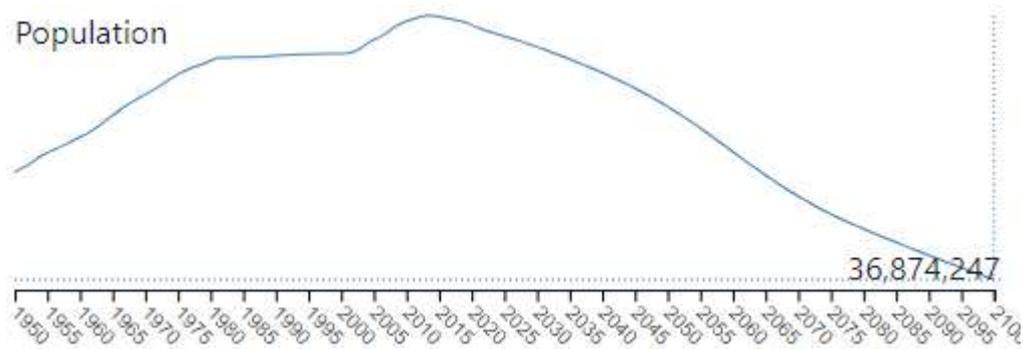
*Fonte: Population pyramid*

Tale crescita non sarà omogenea, infatti la popolazione europea dovrebbe rimanere all'incirca sui valori attuali mentre continenti come l'Africa prevedono di raddoppiare entro il 2050, passando dagli attuali 1,3 a circa 2,5 miliardi di persone. Ci sono paesi la cui crescita sarà esponenziale come Congo, Nigeria e India, avendo un tasso di natalità elevato, un'aspettativa di vita in aumento e miglioramenti

nelle condizioni sanitarie. Inoltre, l'India nei primi mesi del 2023 ha superato la Cina diventando il paese più popoloso al mondo; infatti, la repubblica popolare cinese pur contando quasi un miliardo e mezzo di persone, la popolazione è destinata a scendere di numero tanto che il governo di Pechino ha revocato ufficialmente il divieto del figlio unico il 1° gennaio 2016. Il divieto del figlio unico era stato introdotto nel 1979 come parte della politica di pianificazione familiare, anche se nel 2013, il governo cinese aveva già iniziato ad allentare il divieto permettendo alle coppie in cui entrambi i genitori erano figli unici di avere un secondo figlio.

Dall'altra parte molti paesi sono in declino demografico come il Giappone la cui popolazione secondo le stime passerà dagli attuali centoventicinque milioni di abitanti a circa cento milioni nel 2050. Oppure l'Italia che secondo le previsioni attuali rischierebbe un calo della popolazione di circa il 40% alla fine di questo secolo.

**Figura 2.4** *Evoluzione della popolazione italiana*



Fonte: *Population pyramid*

In genere i paesi in declino demografico sono quelli più sviluppati con un'aspettativa di vita in crescita e un tasso di natalità a ribasso, causando uno squilibrio strutturale nel lungo periodo in cui la popolazione futura si concentra in una fascia di età matura accollandosi l'onere di mantenersi attiva, con la capacità di guidare e contribuire ai processi di cambiamento e di innovazione.

I governi di questi paesi possono deliberare delle azioni legislative<sup>9</sup> con lo scopo di incentivare le famiglie a fare più figli, andando a rafforzare il reddito attraverso misure come assegni, bonus o agevolazioni fiscali in base al numero dei figli a carico.

Un altro fattore demografico da considerare sono le varie fasce d'età, ad esempio, i giovani in particolare i millennials e la Generazione Z, tendono ad essere più interessati a dispositivi come smartphone, tablet e console per videogiochi, che richiedono un gran numero di semiconduttori. Al contrario, le persone più anziane potrebbero essere meno inclini all'acquisto di queste tecnologie, il che ridurrebbe la domanda di semiconduttori.

La popolazione intesa come numero, seppur condizionando la domanda dei semiconduttori come nel caso dell'Asia, non può essere l'unico fattore esplicativo poiché ci sono Stati o continenti che seppur con una popolazione più bassa, hanno una maggiore richiesta di semiconduttori come nel caso dell'Europa rispetto all'Africa.

## **2.2 SVILUPPI NORMATIVI**

I semiconduttori sono componenti fondamentali di molti prodotti elettronici e tecnologici, e la loro produzione e utilizzo sono soggetti a una serie di regolamentazioni e normative. Ad esempio, ci sono normative che riguardano la produzione e lo smaltimento dei semiconduttori, al fine di garantire la loro sicurezza e sostenibilità ambientale. Ci sono anche normative che regolano l'importazione e l'esportazione dei semiconduttori, al fine di ridurre il rischio di frodi commerciali e di violazioni della proprietà intellettuale. Inoltre, ci sono normative che riguardano l'utilizzo dei semiconduttori in vari settori industriali, come le automotive, l'aerospaziale, la difesa e l'elettronica di consumo. Queste leggi possono riguardare la qualità, la conformità dei prodotti elettronici, nonché la privacy dei dati

---

<sup>9</sup> Si veda, Marroni C, 2022, Modello assegno unico per sostenere le famiglie, Il sole 24 ore

e la sicurezza informatica. Infine, si stanno sviluppando regolamenti che riguardano la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie basate sui semiconduttori, come l'intelligenza artificiale, l'Internet delle cose e i computer quantistici. Quest'ultime mirano principalmente a tutelare e garantire l'uso etico di queste tecnologie.

Ad esempio, nel 2021 gli Stati Uniti hanno imposto restrizioni<sup>10</sup> alle esportazioni di semiconduttori verso alcune aziende cinesi, tra cui Huawei, limitando così la capacità dell'azienda di produrre smartphone e altri dispositivi elettronici, affermando che queste aziende rappresentavano una minaccia per la sicurezza nazionale degli Stati Uniti. Inoltre, sempre il governo americano ha anche imposto restrizioni sulle esportazioni di semiconduttori verso la Cina per la produzione di supercomputer avanzati, affermando che tali tecnologie potrebbero essere utilizzate per scopi militari. L'obiettivo è quello di escludere la Cina dalla rete di approvvigionamento, frenando la crescita nel settore tecnologico.

Tuttavia, queste restrizioni hanno anche sollevato preoccupazioni riguardo alle conseguenze economiche per l'industria dei semiconduttori e per le aziende che dipendono dalle esportazioni di semiconduttori verso la Cina.

Dal canto suo, la Cina ha attuato diverse politiche e iniziative per promuovere lo sviluppo del settore dei semiconduttori all'interno del paese, con l'obiettivo di creare una rete di sopravvivenza di approvvigionamenti. Queste politiche fanno parte della strategia "Made in China 2025", che mira a trasformare la Cina in un'economia basata sulla conoscenza e sulla tecnologia. Il piano "Made in China 2025" è una strategia di sviluppo industriale del governo cinese, annunciata nel 2015, che mira a trasformare la Cina in un paese leader nell'innovazione e nella tecnologia avanzata. Il piano identifica dieci settori chiave in cui la Cina cerca di diventare leader globale, tra cui i semiconduttori,

---

<sup>10</sup> Si veda diffusamente, Asan Institute for Policy Studies, *Technology Competition and the Challenges of Rebuilding*, JSTOR (2021)

l'intelligenza artificiale, l'automazione, l'energia rinnovabile, i veicoli elettrici e la biotecnologia. Questi obiettivi da realizzare entro il 2025, permetteranno di ridurre la dipendenza dalla tecnologia straniera e migliorando la competitività dell'industria cinese a livello globale.

Anche l'Europa ha intenzione di promuovere lo sviluppo del settore dei semiconduttori attraverso una serie di politiche e iniziative. In particolare, l'Unione Europea ha recentemente presentato una nuova strategia per la tecnologia dei semiconduttori, chiamata "European Chips Act", che mira a rafforzare l'autonomia strategica dell'Europa nel settore dei semiconduttori. La strategia è stata annunciata nel febbraio del 2022 e proseguirà fino al 2030 con un investimento di circa 43 miliardi di euro, con lo scopo principale di recuperare quote di mercato dalla dominante Taiwan Semiconductor Manufacturing Company e ridurre l'esposizione europea ai rischi della catena di approvvigionamento.

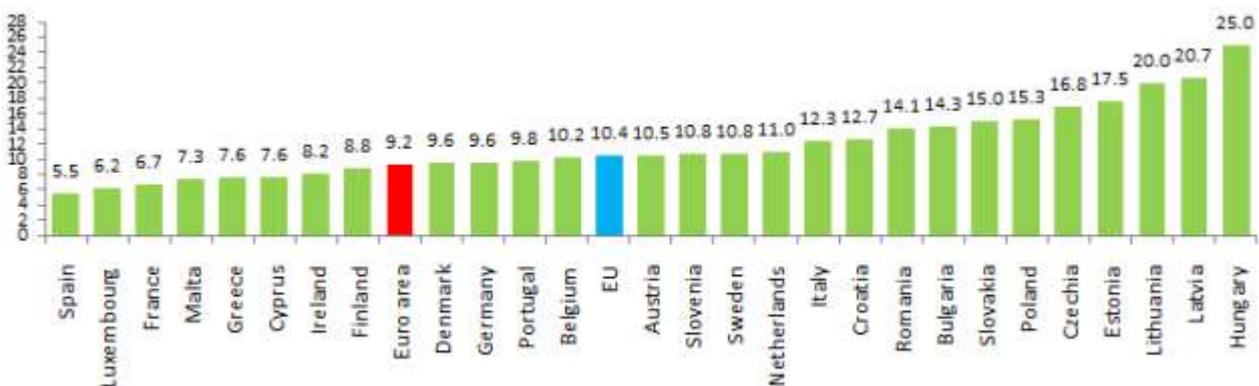
Nel maggio 2023 i paesi appartenenti al G7 (Canada, Stati Uniti, Regno Unito, Germania, Francia, Italia e Giappone) si sono riuniti ad Hiroshima per discutere tra i vari temi, della carenza globale di semiconduttori e della dipendenza eccessiva dai chip prodotti in Asia. Per affrontare questo problema, i leader del G7 hanno concordato di investire in nuove fabbriche di chip, specialmente negli Stati Uniti, in Europa e in Giappone, per aumentare la produzione domestica di semiconduttori attraverso anche gli incentivi come sovvenzioni o sgravi fiscali per attrarre investitori privati. Inoltre, si vuole aumentare la cooperazione tra i paesi membri nella ricerca e sviluppo di tecnologie avanzate come i chip di nuova generazione necessari per le reti 5G e l'intelligenza artificiale. L'obiettivo comune è promuovere standards comuni per il commercio di chip, favorendo le catene di approvvigionamento tra i paesi, rendendole più sicure, in modo da garantire che la produzione, la distribuzione e la fornitura di semiconduttori siano protette da interruzioni, manipolazioni e altre minacce che potrebbero avere un impatto negativo sull'economia globale e sulla sicurezza nazionale dei paesi membri del G7.

## FATTORI MACROECONOMICI

Il settore dei semiconduttori è strettamente legato all'andamento dell'economia globale e può essere influenzato da diversi fattori macroeconomici. In particolare, la crescita economica mondiale è un driver fondamentale della domanda di semiconduttori. Quando l'economia globale attraversa una fase di espansione, la produzione industriale e dei beni tecnologici aumenta, spingendo la richiesta di chip e componenti elettroniche. Al contrario, un rallentamento dell'economia può portare a una contrazione della domanda e degli investimenti nel settore. L'industria dei microchip è un motore importante dell'innovazione tecnologica e della produzione di beni elettronici, richiedendo investimenti considerevoli in ricerca e sviluppo, e in attrezzature di produzione, che possono essere finanziati attraverso prestiti e finanziamenti. Se i tassi di interesse sono bassi, ciò può incentivare gli investimenti nel settore, favorendone lo sviluppo.

Negli ultimi anni la situazione economica post pandemia e soprattutto dalla guerra tra Russia e Ucraina, ha fatto sì che il costo delle materie prime aumentasse in modo considerevole, causando un'inflazione oltre il 10% in molti paesi. Per contrastare l'inflazione la Federal Reserve e la Banca Centrale Europea hanno entrambe aumentato i tassi di interesse in modo da rendere più oneroso prendere in prestito denaro, il che riduce la quantità di moneta in circolazione e allo stesso tempo abbassano la domanda di beni e servizi.

**Figura 2.5 Inflazione nei paesi europei**



Fonte: Eurostat

I paesi più colpiti sono quelli dell'est Europa come Ungheria, Lettonia e Lituania mentre i paesi che hanno registrato un'inflazione più bassa sono stati Spagna e Lussemburgo, anche grazie a scelte politiche come l'abbassamento o azzeramento dell'IVA per i beni di prima necessità.

Le stime<sup>11</sup> della Banca Centrale Europea prevedono un'inflazione media 5,3% nel 2023, per poi scendere al 2,9% nel 2024 e al 2,1% nel 2025. Gli shock da offerta come i recenti forti rincari di petrolio, gas e altre materie prime hanno contribuito in modo significativo all'aumento dell'inflazione in Europa e nel mondo. La diminuzione di queste pressioni dovrebbe aiutare l'inflazione a moderarsi nel medio termine.

Gli effetti dell'inflazione hanno avuto conseguenze soprattutto nel mondo occidentale, ovvero in Europa e America, mentre nei paesi più sviluppati dell'estremo oriente (Cina, Giappone e Corea del Sud) l'inflazione media è stata sul 4%. Le aziende a tal senso cercano di migliorare l'efficienza operativa adattandosi a scenari di debole crescita o riduzione dei margini, attraverso l'ottimizzazione dei processi produttivi, riduzione dei costi e incremento della resa produttiva.

In un contesto di globalizzazione in cui le economie dei vari paesi sono sempre più interconnesse attraverso la circolazione di capitali, beni o tecnologie un fattore rilevante da considerare è la politica governativa dei paesi più sviluppati industrialmente. Tra questi ci sono il governo americano e cinese che sono in disputa in merito alla situazione di Taiwan che rappresenta un territorio strategicamente importante da un punto di vista sia commerciale che militare.

Durante il XX secolo, Taiwan è stata al centro di numerosi conflitti politici e militari, in particolare dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale. Nel 1949, a seguito della guerra civile cinese, il governo nazionalista del Kuomintang (KMT) guidato da Chiang Kai-shek si ritirò sull'isola di Taiwan, mentre i comunisti di Mao Zedong stabilirono la Repubblica Popolare Cinese (RPC) sulla terraferma cinese.

---

<sup>11</sup> Si veda [www.ecb.europa.eu](http://www.ecb.europa.eu)

Da allora, Taiwan è stata governata come una repubblica separata sotto il nome di Repubblica di Cina (ROC).

La RPC considera Taiwan come una provincia ribelle e ha l'obiettivo di riunificare l'isola con il continente sotto il principio di "un paese, due sistemi", come annunciato dallo stesso presidente cinese Xi Jinping<sup>12</sup>, affermando la volontà di anettere Taiwan alla Cina in occasione del centenario della nascita della RPC. Tuttavia, molti taiwanesi si identificano come un popolo distinto e resistono all'idea di una riunificazione con la Cina.

Gli Stati Uniti hanno svolto un ruolo cruciale nel mantenere l'equilibrio tra Taiwan e la Cina. Nel 1979, gli Stati Uniti riconobbero ufficialmente la RPC come l'unico governo legittimo della Cina e interruppero le relazioni diplomatiche formali con Taiwan. Tuttavia, nello stesso anno, il Congresso statunitense approvò il Taiwan Relations Act (TRA), che stabiliva un impegno a sostenere la capacità di autodifesa di Taiwan e a mantenere relazioni non ufficiali con l'isola.

Le relazioni tra questi tre paesi sono rimaste tese, e gli Stati Uniti hanno continuato a vendere armi a Taiwan per rafforzare la sua capacità di difesa. La Cina, d'altro canto, ha aumentato la sua presenza militare nel Mar Cinese Meridionale e ha minacciato di usare la forza per riunificare Taiwan con il continente.

Inoltre, a Taiwan risiede l'azienda TSMC il più grande produttore mondiale di semiconduttori e un attore chiave nella catena di approvvigionamento globale di chip. La crescente domanda di semiconduttori e la scarsità di approvvigionamento hanno reso TSMC un'azienda strategica a livello globale.

Gli Stati Uniti e la Cina sono entrambi clienti importanti di TSMC e dipendono dai suoi prodotti per il funzionamento delle loro economie e delle loro infrastrutture tecnologiche. Tuttavia, la crescente

---

<sup>12</sup> Si veda l'articolo di Fatiguso R, La Cina di Xi: «Nessuno può intimidirci, Taiwan sarà nostra», Il solo 24 ore (2021)

rivalità tra i due paesi ha portato gli Stati Uniti a imporre restrizioni sulle esportazioni di tecnologia avanzata verso la Cina, limitando l'accesso della Cina ai chip prodotti da TSMC. Questa situazione ha ulteriormente acuito le tensioni tra i tre paesi e ha fatto di TSMC un attore cruciale nel contesto geopolitico.

Gli USA hanno dichiarato che rispetto alla guerra tra Russia e Ucraina, in cui sono intervenuti in maniera indiretta allo scontro, in caso di attacco bellico della Cina verso Taiwan l'esercito americano interverrà direttamente allo scontro. Le tensioni tra questi paesi si riflettono anche nei mercati azionari, tanto che lo stesso Warren Buffet nei primi mesi del 2023 attraverso la sua holding, Berkshire Hathaway, ha liquidato l'86,2% delle azioni TSMC, passando dalle 60 milioni di azioni ad 8,3 milioni, dopo averne acquistate a fine 2022, proprio per via delle crescenti tensioni geopolitiche.

## **2.4 SVILUPPI TECNOLOGICI**

### **2.4.1 COMPUTER QUANTISTICI**

Uno degli ambiti di maggior sviluppo tecnologico su cui gli scienziati stanno lavorando, sono i computer quantistici, ovvero un tipo di computer che utilizza i principi della meccanica quantistica per eseguire operazioni e calcoli. Di seguito verranno illustrati alcuni dei principi<sup>13</sup> più importanti della fisica quantistica.

Il primo principio è la sovrapposizione, un fenomeno secondo cui ad una grandezza di un sistema possono essere associati contemporaneamente due o più valori. Ad esempio, nel passeggiare se si deve scegliere tra andare a destra o a sinistra, in base alle normali leggi di tutti i giorni la scelta sarà

---

<sup>13</sup> Si veda, La computazione quantistica & gli spazi vettoriali, RBA (2021)

esclusivamente una (o si va a destra o a sinistra), mentre in base alle leggi quantistiche è possibile scegliere considerando allo stesso tempo tutte due le strade (sia a destra che a sinistra).

Il secondo principio è la reversibilità, una conseguenza del principio di sovrapposizione, infatti, tornando all'esempio di prima, percorrendo tutte e due le strade, non si verifica una perdita di informazione in quanto si conosce esattamente cosa si trova in entrambi i tragitti. Nelle realtà vige il principio di irreversibilità perché, se si sceglie un'opzione in un certo tempo, automaticamente si perde l'altra. In termini informatici diremmo che si verifica una perdita di informazione.

Il terzo principio è l'effetto tunnel, è un fenomeno che permette la transazione in uno stato che risulta impossibile nella meccanica classica. Ad esempio, se si lancia una palla contro una parete, essa non lo attraversa ma ribalza contro; mentre se si lavora con particelle molto piccole tali da far valere le leggi quantistiche, lanciando queste particelle contro la parete, esiste una certa probabilità non nulla, che queste particelle attraversino la parete. Questo principio viene chiamato effetto tunnel, proprio perché è come se si creasse una galleria nascosta dove passare.

Il quarto principio è indeterminazione, secondo cui non è possibile misurare contemporaneamente e con estrema esattezza le proprietà che definiscono lo stato di una particella elementare.

Collegando quanto appena detto, con strumenti costruiti con i semiconduttori come i transistor, quest'ultimi vengono collegati a delle porte logiche, ovvero, circuiti digitali nelle quali quando ricevono determinati segnali elettrici, svolgono operazioni logiche booleane o più semplicemente binarie (0 e 1)

Queste operazioni logiche danno risultati certi, quali bit 0 oppure bit 1, ma come appreso dal principio di sovrapposizione se si utilizzasse transistor molto piccoli potrebbero non funzionare più, proprio per il fatto che gli stati 0 e 1 non sono più certi ma hanno una rispettiva probabilità che si realizzino. Questa situazione causerebbe il mancato funzionamento di computer, cellulari ed altri dispositivi che sono indispensabili oggi.

La soluzione consiste nell'implementare porte quantistiche che, come dice il nome stesso, sono strutture tecnologiche che si adattano alla meccanica quantistica. Queste porte logiche operano su un circuito di qubit, definito formalmente come:

$$|v\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

con  $a, b \neq 0$  e  $|a|^2 + |b|^2 = 1$

$V$  = stato arbitrario

$a$  e  $b$  = ampiezze di probabilità

Quando si elabora l'informazione del qubit, si ottiene gli stati  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$  corrispondenti a ciò che si avrebbe con un bit classico, ma con la differenza che in fase di elaborazione dell'informazione è possibile concepire il qubit come se includesse più stati potendo passare da uno stato all'altro.

È bene tenere in mente che, quando si osserva l'evento, il principio di sovrapposizione viene meno, o più precisamente si dice che lo stato quantistico collassa e restituisce un unico valore, 0 oppure 1. Quindi quando si lavora con i qubit, la risposta finale sarà fornita da bit classici proprio perché per essere utili i computer quantistici devono restituire una risposta.

I computer quantistici utilizzano le proprietà quantistiche della materia al fine di utilizzare delle operazioni su dei dati. Nella costruzione si richiede di rispettare dei requisiti fondamentali<sup>14</sup>:

In primo luogo, è necessaria la possibilità di manipolazione, nel senso che si deve aver controllo e gestire cosa si sta facendo. In secondo luogo, occorre filtrare, ovvero il sistema non deve avere nessuna o quantomeno la minima influenza dall'esterno, su diversi aspetti come la temperatura che

---

<sup>14</sup> Si veda, Devoret M, Schoelkopf R, Superconducting Circuits for Quantum Information: An Outlook, Science (2013)

deve essere prossima allo zero assoluto (-273 C° o 0 Kelvin), poiché le particelle si muovono con livelli di energia molto bassi.

Il terzo requisito è la coerenza, infatti è necessario che il filtraggio duri più tempo possibile in modo da mantenere uno stato quantico. Infine, l'ultimo requisito è la misurazione, in quanto lo scopo finale è riuscire ad ottenere una risposta.

Questi requisiti sono molto difficili da realizzare in quanto bisogna manipolarli, quindi apportando un cambiamento nel sistema, ma allo stesso tempo, questo cambiamento deve risultare minimo per non compromettere lo stato quantico.

A livello ingegneristico nella costruzione di un circuito che lavori con i qubit tra le varie tecniche di costruzione, vi è lo SQUID<sup>15</sup> (superconducting quantum Interference device) utilizzati per rilevare in modo molto sensibile la variazione di flussi magnetici. Lo SQUID si basa su due elementi:

- Giunzioni di Josephson, sarebbero degli isolanti posti in mezzo a dei semiconduttori come ostacoli in cui si verifica il fenomeno dell'effetto tunnel;
- Quantizzazione del flusso magnetico, ovvero, il flusso magnetico è assente ( $B=0$ ) oppure può assumere solo valori interi. Questo ci permette di impostare i valori 0 e 1 che richiedono l'uso per il computer.

Se poi si aggiungesse un condensatore molto grande che serve per far oscillare meno le cariche, avremmo, il cosiddetto transmon, una sorta di transistor quantistico.

Una volta costruito il tutto, il meccanismo è il seguente: per prima cosa si invia un flusso magnetico ad una determinata frequenza, la quale genera delle onde elettromagnetiche (microonde) che passano

---

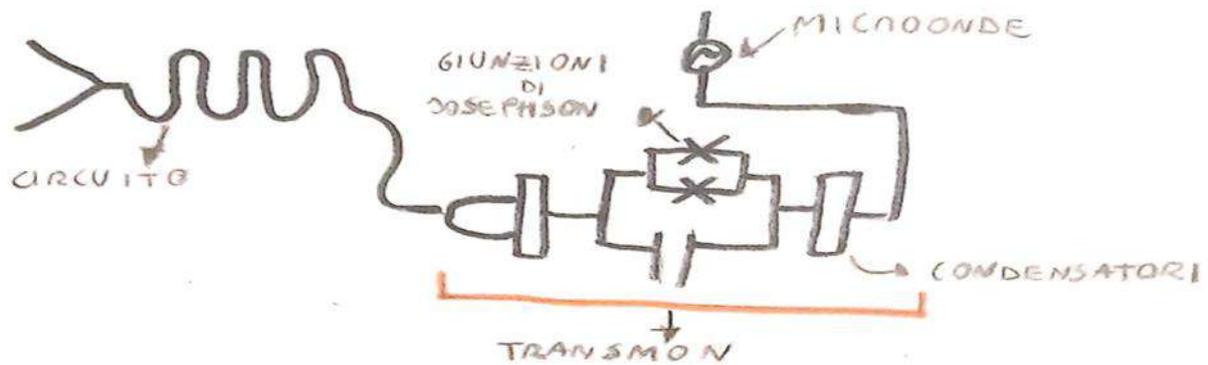
<sup>15</sup> Si veda, McDermott R, Lee S, Haken B, Trabesinger A, Pines and Clarke J, Microtesla MRI with a Superconducting Quantum Interference Device, PNAS (2013)

attraverso i semiconduttori arrivando alla giunzione di Josephson in cui le cariche con una certa probabilità passano oppure no. La conseguenza è che da una parte ci sarà con una certa probabilità più carica dell'altra e questo fa sì che si crea il fenomeno della sovrapposizione.

Poi quando dobbiamo avere una risposta ci basta inviare un segnale elettrico attraverso un circuito che si collega direttamente al transmon che farà collassare i qubit in bit.

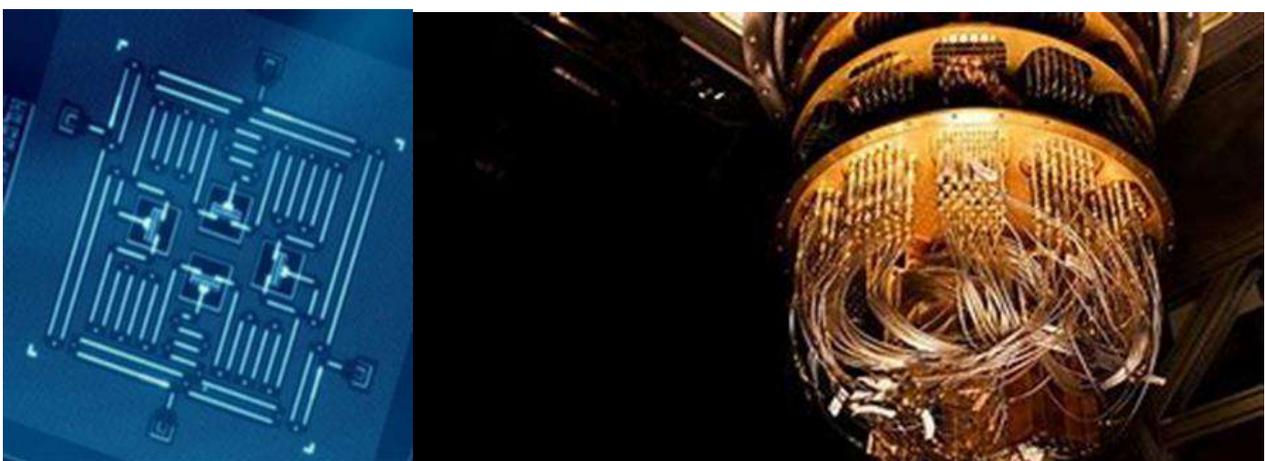
Un esempio di questo genere è rappresentato nel seguente disegno in cui viene illustrato una delle tante disposizioni e metodi di costruzione:

**Figura 2.6 Circuito quantistico**



Fonte: Nostre elaborazioni

**Figura 2.7 Trasmon e criostato**



Fonte: Immagini web

La prima immagine a sinistra rappresenta un tipo di transmon che viene inserito in una sorta di congelatore (Criostato) rappresentato nell'immagine a destra, in modo da mantenere la temperatura all'interno più bassa possibile.

La costruzione di un computer quantistico necessita di un elevato costo economico sia in termini di risorse umane (fisici, ingegneri, informatici) sia di risorse materiali (semiconduttori, superconduttori, isolanti, magneti e molto altro) per cui solo poche aziende possono sviluppare tali computer tra cui: Amazon, Google, Intel, IBM, oppure attraverso iniziative governative come i centri di ricerca americani, cinesi, israeliani o dell'UE.

Per avere un'idea della capacità computazionale di un computer quantistico rispetto ad uno classico, possiamo confrontare i valori di un bit e qubit, nella seguente tabella:

**Tabella 2.3 Confronto bit e qubit**

Bit	Qubit
1	2
2	4
3	8
5	32
7	128
10	1024
20	1048576
30	1073741824
50	1,1259E+15
75	3,77789E+22
100	1,26765E+30

*Fonte: Nostra elaborazione*

Quando si ha un bit è possibile scegliere tra 0 e 1, ma comunque sia la scelta finale sarà un unico valore mentre in termini di qubit, con un solo valore avremmo sia 0 che 1, quindi ben due valori. Al crescere dei qubit la differenza della capacità computazionale rispetto ai bit diventa sempre più rilevante; infatti, a parità di 30 bit avremmo trenta valori possibili mentre con i qubit ben più di un miliardo.

Nel 2019, Google<sup>16</sup> ha annunciato di aver raggiunto una pietra miliare nella ricerca sui computer quantistici, dimostrando per la prima volta la "supremazia quantistica" ovvero che il computer quantistico può risolvere un problema che è troppo complesso per qualsiasi computer tradizionale. In particolare, il calcolo era un algoritmo di campionamento di circuiti casuali, che coinvolgeva 53 qubit, il che significa che il computer quantistico ha esaminato tutte le possibili combinazioni dei suoi 53 qubit.

Secondo Google, il calcolo avrebbe richiesto al computer tradizionale più potente al mondo circa 10.000 anni per essere completato, mentre il computer quantistico di Google lo ha completato in poco più di 3 minuti e mezzo. Questa dimostrazione ha suscitato un grande interesse nella comunità scientifica e tecnologica.

Anche altre aziende come IBM investono molto tempo e risorse prevedendo di costruire un sistema di computer quantistico con più di mille qubit entro il 2023 e più di quattromila entro il 2025.

La ricerca mira anche a trovare metodi e tecniche più efficaci per costruzione e la stabilità dei computer quantistici, come sta facendo Microsoft, attraverso lo sviluppo di un computer quantistico topologico, chiamato Microsoft Surface Code, che utilizza qubit topologici per migliorare la stabilità e l'affidabilità dei qubit.

---

<sup>16</sup> Si veda Clark R, Bartlett S, Bremner M, Lam P, Ralph T, Quantum Computing, JSTOR (2021)

Intel sta lavorando allo sviluppo di tecnologie quantistiche per migliorare le prestazioni dei computer quantistici. In particolare, sta sviluppando un chip quantistico basato su qubit di silicio, che potrebbe essere più facile da produrre e scalare rispetto ad altre tecnologie di qubit.

In sintesi, i computer quantistici sono una tecnologia emergente che potrebbe rivoluzionare il modo in cui risolviamo problemi complessi, rappresentando una grande opportunità di innovazione tecnologica e scientifica, e potrebbero aprire la strada a nuove soluzioni per problemi complessi in campi come la sicurezza delle informazioni, la chimica e la fisica, ma ci sono ancora molte sfide tecniche da superare prima che possano diventare una realtà su larga scala.

#### **2.4.2 LA NANOTECNOLOGIA**

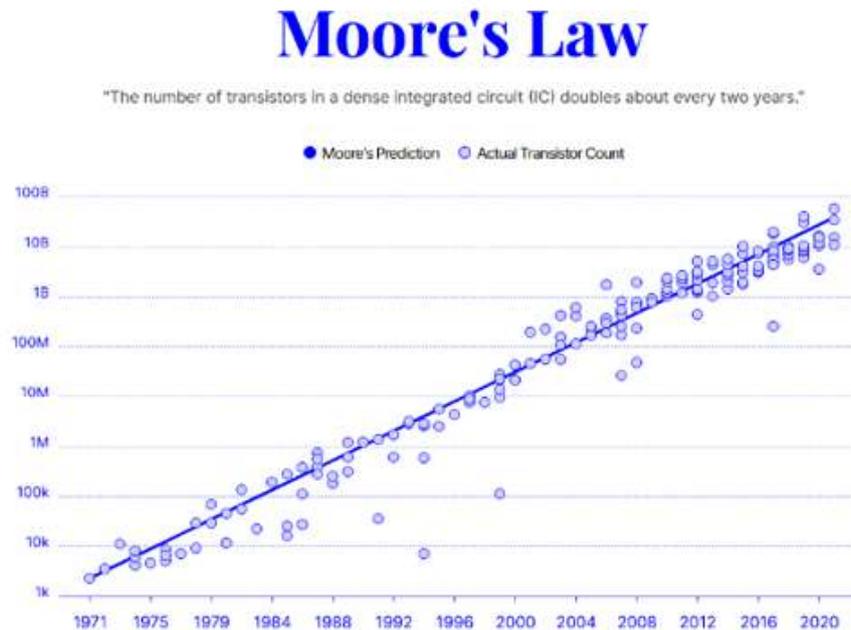
Il 29 dicembre 1959, alla Caltech, in California, Richard Feynman alludeva ad un futuro in cui si sarebbe potuto lavorare con gli atomi, creare macchine per manipolarli e fabbricare tecnologie su nanoscala. Successivamente nel 1974, Noroni Taniguchi, professore di scienza all'università di Tokyo, coniò il termine “nanotecnologia” per indicare un insieme di processi che sfruttano materiali semiconduttori manipolabili su scala nanometrica.

Nel corso del tempo i dispositivi elettronici si sono notevolmente ridotti e allo stesso tempo hanno sviluppato una maggiore capacità di memoria e di calcolo. Questo fenomeno prende il nome dalla legge di Moore<sup>17</sup>, formulata da Gordon Moore, cofondatore di Intel nel 1965, secondo cui la complessità di un microcircuito, misurata tramite il numero di transistor per chip, raddoppia ogni 18 mesi e quadruplica quindi ogni 3 anni.

---

<sup>17</sup> Si rimanda all'enciclopedia Treccani

**Figura 2.8 Legge di Moore**



*Fonte: Reddit*

Come si osserva dal grafico, le stime basate sulla legge di Moore rispecchiano approssimativamente il numero di chip effettivamente utilizzati. Oggigiorno, alcuni chip di processori per PC desktop hanno avuto fino a 19.3 miliardi di transistor, mentre altri per dispositivi mobile hanno avuto fino a 15.3 miliardi di transistor.

La tecnologia sta continuando a evolversi rapidamente, con nuove innovazioni che consentono di aumentare il numero di transistor su un singolo chip. Si prevede che nei prossimi anni si continuerà a vedere un aumento del numero di transistor sui chip, grazie a tecnologie come la litografia<sup>18</sup> a immagine inversa e la tecnologia di gating<sup>19</sup> 3D. Inoltre, si stanno sviluppando anche nuove tecnologie di transistor, come i transistor a stato quantistico e i transistor a spin<sup>20</sup>, che potrebbero

---

<sup>18</sup> La litografia è una tecnica di produzione utilizzata nell'industria dei semiconduttori e consente la miniaturizzazione e l'integrazione di una grande quantità di componenti elettronici su un singolo chip.

<sup>19</sup> Il gating è una tecnica di controllo del flusso di corrente in un transistor a semiconduttore

<sup>20</sup> Si rimanda al paragrafo Spintronica in appendice

sostituire i transistor a stato solido attualmente utilizzati in futuro per contrastare i limiti imposti dalla natura.

La simultanea capacità dei dispositivi di aumentare l'elaborazione dei dati e di contenere sempre più informazione è andata di pari passo con la riduzione della dimensione del numero di transistor dell'ordine dei nanometri. Tuttavia, la riduzione dei materiali in forme sempre più piccole ha dei limiti imposti dalla natura che fanno sì che alcune regole che si applicano con materiali di dimensioni macroscopiche non valgono per quelle microscopiche.

Innanzitutto, bisogna considerare l'importanza del rapporto della superficie e del volume  $(s/v)^{21}$ , infatti quando si vuole ridurre le dimensioni di un oggetto il suo volume diminuirà maggiormente rispetto alla sua superficie. Di conseguenza al diminuire della dimensione, il rapporto S/V aumenta e questo aumento della superficie rispetto al volume fa sì che le proprietà di molti materiali cambiano dalla macro-scala alla nanoscala. Ad esempio, materiali come il rame acquistano fino ad un 40% in più di conduttività elettrica, nonché una maggiore durezza e resistenza, oppure, l'alluminio da metallo diventa semiconduttore. Gran parte del fascino della nanotecnologia deriva da questi fenomeni unici, quantistici e di superficie, che la materia esibisce su scala nanometrica.

La nanotecnologia si occupa di manipolare e controllare la materia a livello atomico e molecolare per creare nanomateriali. Il modo in cui gli atomi si distribuiscono per formare una rete atomica influisce sulle proprietà del materiale, come la densità, la resistenza meccanica, la conducibilità elettrica e termica, e la reattività chimica. Questa distribuzione può essere:

- Casuale, sono i materiali amorfi, i cui atomi non presentano una struttura ordinata e periodica (es. plastica o vetro).

---

<sup>21</sup> Si veda, La nanotecnologia & la sua descrizione matematica, RBA (2021)

- A schema, sono i materiali cristallini, in cui gli atomi sono distribuiti in modo omogeneo, ordinato e periodico (es. semiconduttori)
- Una combinazione tra uno schema e in modo casuale (es. Ottone)

Quando si vuole visualizzare un atomo non ci si riesce neanche con i normali microscopi perché la lunghezza d'onda della luce visibile è molto più grande di quella dell'atomo, più precisamente la luce visibile è nell'ordine di 400-700 nanometri mentre gli atomi sono nell'ordine di circa 31-298 picometri; quindi, la luce visibile è all'incirca 10000 volte superiore alla dimensione dell'atomo.

La soluzione è quella di trovare una lunghezza d'onda dell'ordine dell'atomo, in modo che incida su esso producendo un cambiamento che può essere rilevato. È quello che si usa con i raggi X, che col fascio di radiazioni colpiscono gli elettroni degli atomi, i quali diffrangono (fenomeno in cui un'onda dopo aver attraversato un corpo, si propaga in una direzione differente rispetto a come si propagherebbe se non avesse incontrato un ostacolo) i raggi X permettendo di capire la posizione e il tipo di atomi, ricostruendo anche la struttura atomica attraverso la replicazione della cella elementare nei reticoli cristallini.

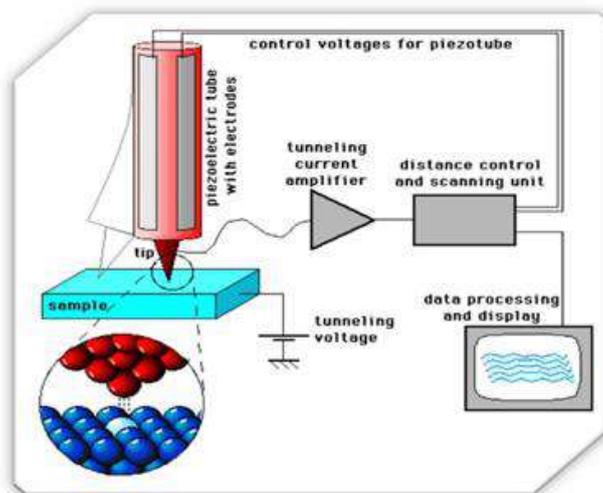
I raggi X proprio perché ci permettono di vedere indirettamente gli atomi, sono stati una grande scoperta, tanto che nel Novecento sono stati assegnati ben 13 premi Nobel per la fisica a studiosi coinvolti in questo campo.

Oggi giorno sono stati sviluppati dei microscopi che ci permettono di progredire nella visualizzazione e manipolazione. Questi microscopi sono ad effetto tunnel e a forza atomica.

Il microscopio a effetto tunnel, misura l'intensità di corrente elettrica tra la punta del microscopio e il materiale metallico quando tra i due si applica una differenza di potenziale. Tra la punta e il materiale non c'è un contatto ma uno spazio vuoto, che grazie all'effetto tunnel esiste una probabilità che il flusso di elettroni che parte dalla punta arrivi al materiale. Tramite la differenza di potenziale

si riesce a capire la superficie dove si manifestano gli atomi. Inoltre, è possibile manipolare gli atomi, infatti, grazie all'ago presente sulla punta si regola la distanza tra l'ago e il materiale in modo che l'atomo riesca a liberarsi dalle forze che lo vincolano al suo supporto e si lega all'ago che lo trasporta verso la posizione che si desidera riducendo l'intensità elettrica per liberare l'atomo dall'ago.

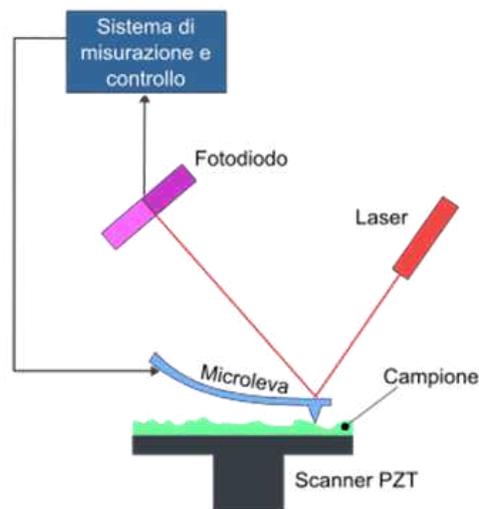
**Figura 2.8 Microscopio a effetto Tunnel**



l'immagine sopra mostra il meccanismo del microscopio a effetto tunnel. Il limite di questo tipo di microscopio è che il materiale sia metallico o semiconduttore.

Il microscopio a forza atomica, si differenzia per il fatto che si utilizzano le forze intermolecolari, infatti, all'aumentare della distanza tra la punta e il materiale cambiano le forze in gioco. Fino a 0,5 nanometri le forze predominanti sono quelle meccanico-quantistiche, mentre da 1 fino a 10 nanometri ci sono le forze di Van der Waals che sono forze intermolecolari, mentre a poche centinaia di nanometri ci sono le forze elettriche e magnetiche.

**Figura 2.9 Microscopio a forza atomica**



Il meccanismo consiste in una microleva alla cui estremità viene collocata una punta che si va a posizionare vicino al materiale (campione) che si vuole analizzare, ad una distanza in cui agiscono le forze di Van der Waals. Queste forze intermolecolari provocano una deflessione (spostamento angolare di uno strumento mobile) della microleva. Questa deflessione viene misurata dal laser che viene riflesso da un fotodiodo (strumento che svolge la funzione di sensore ottico riconoscendo un'onda elettromagnetica e lo trasforma in segnali elettrici) che trasporta l'informazione al computer. Da capire che la distanza tra la punta e il materiale viene mantenuta costante (perché ci permette di capire la superficie del materiale) e la deflessione è proporzionale allo spostamento tra la punta e il campione che si produce durante la scansione della superficie, come si vede in figura.

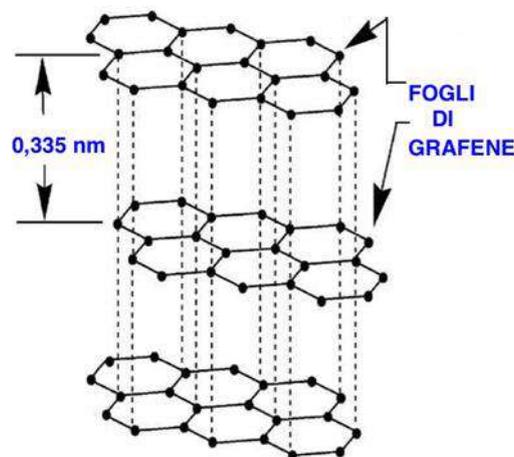
Tra i nanomateriali su cui si lavora nell'industria dei semiconduttori ci sono i nanotubi di carbonio, nano sfere di silicio e quantum dots. Di particolare rilevanza come nanomateriale per il futuro è il grafene un derivato delle graffite.

La grafite (dal greco "grafo" che significa scrivere) venne scoperta circa mezzo millennio fa, quando dei pastori capirono che potevano utilizzare questo minerale per segnare gli animali. Con il tempo venne lavorata questa grafite e messa su dei pezzi di legno e nacque così la matita. Tuttavia,

l'importanza di questo minerale risale al 2004 quando i fisici Andrej Gejm e Konstantin Novosëlov riuscirono ad isolare un singolo strato della grafite ottenendo il cosiddetto grafene, scoperta che è valsa ai due fisici il premio Nobel nel 2010.

Da un punto di vista visivo corrisponde ad uno strato della figura b illustrata sopra. Infatti, la grafite ce la possiamo immaginare come un libro in cui le pagine costituiscono il grafene.

**Figura 2.10 Strati di grafene**



Lo strato singolo che sarebbe il grafene o metaforicamente la pagina, è estremamente difficile da rompere, mentre risulta abbastanza facile separare due strati consecutivi. Quindi rompere il foglio è difficile mentre staccare le pagine dal foglio è facile.

Il grafene ha suscitato un'enorme attenzione nella comunità scientifica e tecnologica perché possiede diverse proprietà: è molto resistente, addirittura possiede una resistenza meccanica quattro volte superiore a quella dell'acciaio, è duro, ben duecento volte più dell'acciaio, è flessibile, è leggero, ben mille volte di più della carta, è trasparente, ed è un ottimo conduttore termico ed elettrico migliore del rame.

Attualmente ci sono alcune sfide tecniche che non permettono per il momento l'utilizzo del grafene di alta qualità su larga scala nell'industria, come il processo di produzione che risulta essere

complesso e costoso. La ricerca continua a concentrarsi sullo sviluppo di tecniche di produzione, integrazione e conservazione del grafene, e potrebbe portare a sviluppi futuri che renderanno il grafene un materiale più ampiamente utilizzato.

## **CAPITOLO 3: ANALISI DEI PRINCIPALI PLAYERS**

### **3.1 ANALISI DEI MULTIPLI**

In questo capitolo verranno presentati alcune delle maggiori aziende semiconduttrici, col fine di capire come queste si posizionino nel mercato rispetto ai competitors. Nella realizzazione di ciò si seleziona un peer group di aziende che operano sia nello stesso settore, sia che abbiano una dimensione il più possibile simile.

I criteri di scelta del peer group sono in primo luogo la capitalizzazione di mercato in cui si considera un range alto di aziende comprese tra i cinquanta e i duecento miliardi di dollari di valore azionario. Le uniche aziende con una capitalizzazione maggiore dei duecento miliardi<sup>22</sup> sono Broadcom, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company e Nvidia, la quale ha superato il trilione di dollari. Un secondo criterio di scelta rappresenta i prodotti o servizi offerti da queste aziende, in particolare si richiede che questi siano principalmente: microprocessori logici (CPU) o grafici (GPU), dispositivi legati all'internet delle cose e alle automotive, servizi di comunicazione 5G, robotica, automazione industriale e storage dei dati. I mercati di vendita selezionati si basano sulla maggiore domanda richiesta e sulle prospettive di sviluppo.

Il peer group selezionato è composto da cinque società: Analog devices, Texas instruments, Qualcomm, Micron Technology e Intel.

L'azienda americana Analog Devices (ADI) fondata nel 1965 è specializzata in circuiti integrati analogici e digitali. Tra i prodotti offerti<sup>23</sup> ci sono MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) e DSP (Digital Signal Processing), utilizzati in molti settori come l'industria automobilistica, industria aerospaziale, telecomunicazioni e medicina. Oltre il 70% dei ricavi dell'azienda derivano dalla

---

<sup>22</sup> I valori fanno riferimento a luglio del 2023

<sup>23</sup> Per maggiori dettagli si veda il bilancio annuale di Analog Devices 2022

vendita di apparecchiature industriali e automotive che corrispondono ad oltre gli otto miliardi e mezzo di dollari con una particolare crescita della vendita di automotive pari al 102% rispetto al 2021.

L'azienda Texas Instruments (TXN), fondata nel 1930, produce sostanzialmente gli stessi ambiti di prodotti di ADI in riferimento alle apparecchiature industriali e automotive con un peso leggermente inferiore pari al 65% ma in crescita nel corso degli anni, infatti, nel 2013 il valore era del 42%. Un altro segmento di ricavi rilevante pari al 20% del fatturato riguarda l'elettronica personale, con la vendita di cellulari, tablet, televisori, computer, e gaming.

La terza società Qualcomm (QCOM) fondata nel 1985 con sede a San Diego, si occupa principalmente di telefonia mobile attraverso la vendita dei processori noti con il nome di Snapdragon molto efficienti nella capacità di elaborare una vasta gamma di funzioni, inclusi calcoli complessi e grafica avanzata. QCOM commercia anche servizi di comunicazione wireless 4G e 5 G, ed in misura minore di automotive e dispositivi per l'internet delle cose (IT).

Un'altra società è Micron Technology (MU) nata nel 1978 a Boise in Idaho, mantiene una posizione di leadership nel mercato delle memorie DRAM (Dynamic Random Access Memory) un tipo di memoria volatile utilizzato nei computer e nei dispositivi elettronici per memorizzare temporaneamente dati e istruzioni. e NAND acronimo di "NOT-AND", è un altro tipo di tecnologia di memoria flash non volatile utilizzata per l'archiviazione di dati a lungo termine in dispositivi elettronici come smartphone, tablet, unità USB e schede di memoria. La vendita di dispositivi di memorizzazione rappresenta la principale fonte di ricavi di Micron T. in quanto esse vengono utilizzate nelle industrie, automotive, e telefonia mobile. MU possiede come canali di distribuzione: l'America del Nord, l'Europa, e vari Stati dell'Asia come Giappone, Cina, India e Corea del sud.

L'ultima azienda del peer group selezionata è Intel Corporation (INTC) fondata nel 1968 da Gordon Moore e Robert Noyce. Intel è una delle aziende leader nella produzione di microprocessori molto avanzati insieme a Samsun e TSMC, tanto che nel 2019, ha introdotto i processori a 10 nm che offrono notevoli miglioramenti delle prestazioni della CPU e della GPU. Nel 2017 Intel acquisisce Mobileye un'azienda israeliana specializzata nello sviluppo di tecnologie avanzate per la guida autonoma e la sicurezza stradale. Mobileye è nota principalmente per il suo sistema di assistenza alla guida avanzato ADAS (Advanced Driver Assistance System), che utilizza telecamere e sensori per rilevare segnali stradali, veicoli circostanti, pedoni e ostacoli. Questi dati vengono elaborati utilizzando algoritmi e intelligenza artificiale per fornire avvisi e funzionalità di assistenza al conducente, come il rilevamento di collisioni imminenti, il mantenimento della corsia, l'avviso di superamento della velocità e altro ancora. Tra le sue attività rientrano anche l'internet delle cose e cloud computing.

**Tabella 3.4 Indici di valutazione**

Aziende	P/E	P/BV	EV/EBIT	P/CF	P/SALES
ADI	35,54	2,68	29,63	21,83	8,13
TXN	18,68	11,21	16,09	18,74	8,16
QCOM	10,25	7,36	9,92	14,58	3,00
MU	7,96	1,39	7,65	4,55	2,25
INTC	17,40	1,38	85,84	9,04	2,21
<b>Media</b>	<b>17,97</b>	<b>4,80</b>	<b>29,82</b>	<b>13,75</b>	<b>4,75</b>
<b>Media settore</b>	<b>70,39</b>	<b>3,79</b>	<b>19,34</b>	<b>18,82</b>	<b>5,63</b>

Fonte: Nostre elaborazioni

Dalla tabella possiamo confrontare sia le aziende specificatamente selezionate tra loro, sia confrontarle con i valori generali del settore. Il primo multiplo è il Price-to-Earnings ratio (P/E) che indica il rapporto tra il prezzo di mercato di una singola azione di un'azienda e i suoi utili per azione. I valori del peer group sono nettamente migliori di quelli del settore, che si traduce in un ritorno di investimento quattro volte superiore rispetto la media. Nello specifico le aziende migliori in tal senso risultano essere Micron Technology e Qualcomm.

Il secondo multiplo è il Price to Book Value (P/BV) è un indicatore finanziario che rappresenta la quota di attivo netto di un'azienda assegnata a ciascuna azione in circolazione. In sostanza, il valore contabile delle azioni rappresenta la porzione di valore dell'azienda che spetta ai possessori delle azioni in base alle informazioni contabili della società. La media del peer group è maggiore di circa un punto rispetto a quella del settore, e ciò potrebbe indicare che il mercato valuta l'azienda come un premio rispetto al suo valore contabile, suggerendo che gli investitori hanno aspettative positive sull'azienda in termini di crescita futura, redditività o altri fattori che potrebbero giustificare il premio. Tuttavia, la media è fortemente influenzata da TXN, la quale presenta un rapporto superiore rispetto ai competitors, facendo aumentare la media del P/BV.

Il terzo multiplo è Enterprise Value to Earnings Before Interest and Taxes (EV/EBIT) un indicatore che fornisce una valutazione complessiva dell'azienda, tenendo conto sia del debito e capitale proprio, sia dei profitti generati dall'azienda prima degli interessi e della tassazione. Come si vede dal grafico la media del settore è inferiore rispetto a quello delle aziende selezionate, ma il risultato è

condizionato dalla società Intel la quale ha registrato una diminuzione dell'Ebit di circa il 90% dovuto ad un mix di fattori, tra cui calo delle vendite, aumento del costo del venduto ed un incremento degli investimenti in ricerca e sviluppo. Come si può dimostrare la media senza INTC scende a circa 15.82, sotto i valori di mercato.

Il quarto multiplo è il Price-to-Cash Flow è un indicatore finanziario utilizzato per valutare il rapporto tra il prezzo di mercato delle azioni di un'azienda e il suo flusso di cassa operativo. Rappresenta quante volte il prezzo delle azioni supera il cash flow generato dall'azienda. Generalmente un P/CF più basso può indicare che le azioni sono relativamente più convenienti rispetto al flusso di cassa generato, mentre un P/CF più alto può indicare che le azioni sono considerate più costose rispetto al cash flow operativo. Il P/CF del peer group presentano quasi tutti valori sotto la media, in cui risalta Micron Technology con un flusso di cassa per azione 4/5 volte il prezzo del titolo.

Infine, il quinto multiplo è il Price-to-Sales indica quante volte il prezzo delle azioni supera le entrate generate dall'azienda. Qualcomm, Micron T. e Intel registrano ottimi risultati con ricavi di vendita rispetto al prezzo dei titoli più alti rispetto al mercato.

Ponendo 1 come riferimento, si valuta le singole aziende con la media del peer group in modo da capire quali di esse stanno facendo meglio di altre.

**Tabella 3.5 Valutazione comparativa**

<b>Aziende</b>	<b>P/E</b>	<b>P/BV</b>	<b>EV/EBIT</b>	<b>P/CF</b>	<b>P/SALES</b>
<b>ADI</b>	1,978176	0,557837	1,011202	1,587726	1,711812
<b>TXN</b>	1,039541	2,334257	0,55098	1,363078	1,717648
<b>QCOM</b>	0,570607	1,533091	0,332395	1,060532	0,631664
<b>MU</b>	0,442916	0,288434	0,253975	0,331229	0,473156
<b>INTC</b>	0,96876	0,286382	2,851448	0,657434	0,46572

Fonte: Nostre elaborazioni

Le società con un valore minore di uno, registrano una sottovalutazione rispetto ai competitors mentre quelle maggiori di uno segnalano una sopravvalutazione sempre rispetto agli altri players del gruppo.

Successivamente se traduciamo i valori ottenuti nella tabella 3.5 in prezzi relativi, è possibile ottenere una stima del target price delle aziende.

**Tabella 3.6 Stima del valore dei titoli**

<b>ADI</b>	\$ 98,48	\$ 349,22	\$ 192,65	\$ 122,70	\$ 113,80
<b>TXN</b>	\$ 173,17	\$ 77,12	\$ 326,73	\$ 132,07	\$ 104,81
<b>QCOM</b>	\$ 208,62	\$ 77,65	\$ 358,13	\$ 112,25	\$ 188,45
<b>MU</b>	NT\$ 142,49	NT\$ 218,80	NT\$ 248,49	NT\$ 190,53	NT\$ 133,38
<b>INTC</b>	NT\$ 34,52	NT\$ 116,77	NT\$ 11,73	NT\$ 50,86	NT\$ 71,80

	<b>Target Price</b>	Prezzi 07/2023	Gain/Loss	
<b>ADI</b>	\$ 175,37	\$ 194,81	\$ -19,44	sopravvalutata
<b>TXN</b>	\$ 162,78	\$ 180,02	\$ -17,24	sopravvalutata
<b>QCOM</b>	\$ 189,02	\$ 119,04	\$ 69,98	sottovalutata
<b>MU</b>	\$ 186,74	NT\$ 63,11	\$ 123,63	sottovalutata
<b>INTC</b>	\$ 57,14	NT\$ 33,44	\$ 23,70	sottovalutata

Fonte: Nostre elaborazioni

Mettendo a confronto le stime del target price con i prezzi correnti dei titoli è possibile capire quali di essi siano sopravvalutati o sottovalutati. Nello specifico i titoli di ADI e TXN hanno una valutazione sul mercato maggiore rispetto al valore reale stimato dall'analisi dei multipli, per cui si ritiene che tali titoli siano sopravvalutati. Al contrario QCOM, MU ed INTC hanno valori di mercato minori rispetto alle stime effettuate, che indica una possibile sottovalutazione dei titoli.

### 3.2 ANALISI FINANZIARIA

In questo capitolo, verranno analizzate ed interpretate le informazioni contabili delle aziende cercando di valutarne la salute finanziaria, la performance e le prospettive future. L'obiettivo dell'analisi finanziaria è di ottenere una comprensione approfondita delle società attraverso l'analisi dei suoi dati finanziari e l'interpretazione dei risultati al fine di prendere decisioni più razionali possibili.

**Tabella 3.7 Indici di redditività**

INDICI DI REDDITIVITÀ	ADI	TXN	QCOM	MU	INTC
ROA	5,46%	32,16%	26,39%	13,11%	4,40%
ROE	7,54%	60,02%	71,81%	17,41%	7,90%
ROI	7,06%	38,21%	32,36%	14,71%	1,28%
ROD	1,45%	1,69%	1,58%	1,15%	0,63%
ROS	29,58%	51,91%	35,88%	31,70%	3,70%
Net profit margin	22,88%	43,68%	29,27%	28,24%	12,71%

*Fonte: Nostre elaborazioni*

Gli indici di redditività misurano la capacità di un'impresa di generare utili rispetto a determinate variabili finanziarie, come il fatturato, gli investimenti e il patrimonio netto. Dalla tabella si può notare che TXN e QCOM hanno registrato un notevole profitto rispetto all'attività a disposizione, in cui la prima presenta valori consolidati da anni mentre la seconda in flessione rispetto agli anni precedenti ma comunque con ottimi risultati. Intel nel 2022 e metà del 2023 è in sofferenza con ricavi al di sotto delle aspettative che condizionano i profitti dell'azienda. Tuttavia, Intel nel 2022 ha distribuito quasi sei miliardi di dollari di dividendi, anche se per via della bassa redditività che si prevede continuerà per il 2023, il management ha annunciato una riduzione del dividendo pari al 67% passando da 1,46\$ ad azione a 0,5\$.

Il ROI di ogni società è maggiore del ROD, il che significa un tasso di rendimento della gestione operativa superiore al costo di finanziamento, permettendo un margine di profitto al netto della tassazione e delle spese straordinarie.

**Tabella 3.8 Indici di liquidità**

INDICI DI LIQUIDITÀ	ADI	TXN	QCOM	MU	INTC
Current ratio	202,16%	469,72%	174,65%	288,91%	156,76%
Quick ratio	144,85%	377,35%	121,21%	200,53%	115,64%

Fonte: Nostre elaborazioni

Gli indici di liquidità misurano la capacità di un'impresa di far fronte alle proprie obbligazioni finanziarie a breve termine. Le aziende selezionate presentano tutte ottimi livelli di liquidità, ciò significa che l'azienda ha abbastanza denaro disponibile per pagare le sue fatture, fornitori e dipendenti senza dover vendere i suoi attivi a lungo termine o richiedere prestiti a breve termine.

**Tabella 3.9 Indici di solvibilità**

INDICI DI SOLVIBILITÀ	ADI	TXN	QCOM	MU	INTC
Debt to capital ratio	27,51%	46,42%	63,25%	24,71%	43,28%
Debt to equity	37,95%	86,64%	172,10%	32,81%	77,71%
Leva finanziaria	1,379457	1,866433	2,721035	1,32813	1,79548
Indice di indebitamento	4,86%	10,97%	24,21%	11,37%	17,66%

Fonte: Nostre elaborazioni

Gli indici di solvibilità misurano la capacità di un'impresa di far fronte alle proprie obbligazioni finanziarie a lungo termine. Texas Instruments e Qualcomm oltre ad una redditività maggiore, segnano anche un alto rapporto tra le passività e le fonti di finanziamento rispetto alla media di settore che si aggira intorno al 30%, mentre Analog Devices, Micron Technology e Intel presentano valori più o meno in linea con i valori di riferimento.

I principali motivi di indebitamento delle aziende che producono semiconduttori e più in generale a quelle tecnologiche sono gli aggiornamenti ed espansione della capacità produttiva in modo da stare al passo con i rapidi cambiamenti tecnologici. Inoltre, molte aziende investono diversi miliardi in ricerca e sviluppo per migliorare i propri prodotti e finanziare progetti innovativi all'avanguardia. Un esempio è Intel che punta a costruire microchip inferiori ai 3 nanometri e al tempo stesso impianti

e fabbriche di produzione. Anche Analog devices ha deciso di investire oltre seicento milioni di euro in ricerca e sviluppo di semiconduttori in Europa.

**Tabella 3.10 Indici di attività**

INDICI DI ATTIVITÀ	ADI	TXN	QCOM	MU	INTC
Indice di rotazione delle scorte	8,58	7,26	6,97	4,62	4,77
DOH	42,53	50,24	52,36	79,07	76,55
Indice di rotazione dei crediti	6,67	10,57	10,59	6,00	15,26
DSO	54,70	34,54	34,48	60,88	23,92
Indice di rotazione dei debiti	1,83	2,10	1,57	2,24	1,13
Debiti sospesi	198,95	174,13	232,42	163,21	324,32

Fonte: Nostre elaborazioni

Gli indici di attività sono indicatori finanziari utilizzati per valutare l'efficienza con cui un'azienda utilizza i suoi attivi per generare entrate. L'indice di rotazione delle scorte, noto anche come Inventory Turnover, è un indicatore finanziario che misura la frequenza con cui l'inventario di un'azienda viene acquistato e venduto durante un determinato periodo di tempo. Dalla tabella si può osservare che Analog Devices ha un valore compreso tra 8 e 9 che suggerisce che l'azienda è in grado di vendere rapidamente le sue merci e riapprovvigionarsi di nuove scorte. Il DOH indica il numero di giorni in cui le scorte rimangono a disposizione e il suo valore è dato dal rapporto tra il periodo di attività di una società e il suo indice di rotazione delle scorte. Nel caso di ADI il DOH corrisponde a 42,53 il che significa che le scorte rimangono in magazzino per un periodo di 42/43 giorni prima di aprire un nuovo ciclo.

In generale nel settore dei semiconduttori, caratterizzato da una rapida evoluzione tecnologica e da cicli di produzione e domanda complessi, è comune avere un ciclo di vita relativamente breve per i prodotti e quindi un periodo di rimanenza delle scorte relativamente ridotto. Un periodo di vendita buono sarebbe compreso tra i 30-90 giorni, un tempo maggiore potrebbe indicare che l'azienda a difficoltà a liberarsi delle rimanenze per motivi come obsolescenza, cambiamenti di mercato o riduzione della domanda. Al contrario un DOH inferiore e un indice di rotazione delle scorte elevato

potrebbe indicare che l'azienda non dispone di una riserva di rimanenza adeguata al ritmo delle vendite.

L'indice di rotazione dei crediti e debiti indicano rispettivamente la velocità in cui i crediti si trasformano in incasso e i debiti in costi. In tabella vengono mostrati anche il periodo espresso in giorni dei crediti e debiti, in cui il primo è minore del secondo, il che indica che le aziende hanno una buona gestione delle attività riuscendo ad adempiere agli obblighi finanziari contratti nel breve periodo.

### 3.3 ANALISI DEI RISCHI

In questo capitolo si considereranno i rendimenti e i rischi associati alle aziende, facendo uso di un benchmark e dei titoli obbligazionari. Si considereranno le variazioni di prezzo degli ultimi quindici anni del peer group selezionato nonché i rendimenti dei bond degli Stati Uniti nello stesso orizzonte temporale.

**Tabella 3.11 Rendimenti e rischi specifici**

COMPANIES	ADI	TXN	QCOM	MU	INTEL
<b>Rend. Medio annuale ultimi 15 anni</b>	16,36%	16,17%	11,11%	28,99%	6,23%
<b>Dev.standard</b>	7,49%	6,68%	9,69%	7,70%	7,72%
<b>SHARPE RATIO</b>	1,65	1,83	0,74	3,25	0,29
<b>SORTINO RATIO</b>	3,14	3,41	1,49	3,61	0,50
<b>TREYNOR RATIO</b>	0,11	0,12	0,06	0,19	0,03
<b>VALUE AT RISK 95%</b>	1,37%	2,81%	-8,28%	13,58%	-14,92%
<b>VALUE AT RISK 99%</b>	-6,12%	-3,88%	-17,98%	5,88%	-22,65%
<b>Alfa</b>	5,55%	6,22%	-0,16%	17,06%	-2,97%

Fonte: Nostre elaborazioni <sup>24</sup>

L'azienda che ha avuto la performance migliore è stata Micron Technology con un rendimento medio annuale del 29% passando da un prezzo di circa 4 dollari ad azione ad oltre i 60 dollari, mantenendo un rischio di variazione in linea con quello dei competitors. Analog Devices e Texas Instruments hanno ottenuto buoni risultati, con valori più o meno simili; infatti, calcolando la correlazione tra i due titoli otteniamo un valore di 0,813 che indica una correlazione positiva, ovvero, se cresce un

<sup>24</sup> I dati si riferiscono al periodo 07/2008-07/2023

titolo, l'altro tende ad andare nella stessa direzione e viceversa. Anche graficamente si può osservare come i due titoli siano diminuiti negli stessi periodi (03/2020, 06/2022, 09/2022) e siano cresciuti in altre tanti insieme. Qualcomm è cresciuta dal 2008 fino a novembre del 2021 in cui ha raggiunto il picco max per poi andare a diminuire nell'ultimo anno e mezzo. Il motivo è legato principalmente alla crisi dei semiconduttori che ha colpito Qcom in misura maggiore rispetto ad altri competitors per via del fatto che l'azienda non possiede fonderie o fabbriche di wafer, per cui il suo approvvigionamento dipende da terzi in particolare da Samsung e Globalfoundries.

Intel registra un rendimento inferiore rispetto alla deviazione standard delle variazioni di prezzo. Come espresso precedentemente il margine di profitto si è ridotto nel 2022 per varie ragioni riportate dalla società nel loro rapporto annuale che includono principalmente cambiamenti di alcuni prodotti specifici offerti da Intel, crisi macroeconomica generale, cancellazione di ordini di vendita e ritardi di consegna. In particolare, la chiusura portuale in Cina per via della ripresa dei contagi con conseguente carenza di substrati e componenti necessari per l'attività, ha causato un impatto negativo sulla domanda e sugli utili della società.

Lo Sharpe, Sortino e Treynor ratio sono indicatori di rendimento finanziario utilizzati per valutare l'efficacia di un investimento rispetto al suo rischio. Questi indici confrontano i rendimenti di titoli azionari con titoli privi di rischio come quelli obbligazionari. Normalmente la curva dei tassi di interesse tende ad essere bassa nei brevi periodi, per poi crescere nel lungo periodo, tuttavia negli ultimi anni con la pandemia e soprattutto la guerra Russo-Ucraina, ha causato un'inversione della curva dei tassi presentando valori maggiori nel breve termine e minori nel lungo. La scelta nel calcolo è basata su un periodo di 15 anni a partire da metà del 2003 con un tasso di interesse del 3,96%.

Nello specifico lo Sharpe ratio è dato dalla differenza tra il rendimento medio del titolo azionario meno il rendimento del titolo privo di rischio, il tutto diviso la deviazione standard del titolo azionario. Valori maggiori di 3 sono considerati eccellenti, maggiori di due buoni e maggiori di 1 sufficienti. Dalla tabella risulta che MU pari a 3,25 indicando che l'azienda sta facendo molto bene in relazione al suo rischio. QCOM e Intel hanno valori inferiori ad 1 il che significa che converrebbe investire in titoli privi di rischio, i quali offrono un rendimento inferiore ma in relazione al rischio assunto, una maggiore convenienza.

Il Sortino ratio e il Treynor ratio hanno lo stesso numeratore del Sharpe ratio ma si differenziano per il fatto che, il primo al denominatore si considera la deviazione standard negativa, ovvero solo le

fluttuazioni di rendimento a ribasso, e il secondo il beta, ovvero una misura della volatilità del titolo rispetto al mercato. Considerando solamente i cambiamenti a ribasso, i titoli QCOM, ma soprattutto TXN e ADI, superano ampiamente la soglia del tre avvicinandosi a MU.

Il Value at Risk (VaR) è una misura del rischio finanziario di un investimento. Indica la quantità massima di denaro che un titolo può perdere con una certa probabilità in un certo periodo di tempo. Ad esempio, INTC ha una probabilità che il prezzo del titolo scenda al 95% di circa il 13% e una probabilità al 99% di un ribasso del 22,65%. Nel restante 1% dei casi non si conosce il valore della perdita che potrebbe essere molto maggiore e non è facilmente prevedibile. Gli analisti chiamano cigni neri quegli eventi che sono così inaspettati che non sono inclusi nei modelli di risk management, e che possono avere un impatto significativo sui mercati finanziari, sull'economia e sulla società. Ne sono un esempio la crisi del 2008 o il COVID-19.

Infine, l'ultimo indicatore di performance e rischio è l'alfa una misura del rendimento in eccesso di un portafoglio rispetto a un benchmark, dopo aver preso in considerazione il rischio sistematico. Come benchmark di riferimento è stato utilizzato l'indice azionario Standard & Poor's (S&P) composto dalle 500 maggiori società statunitensi per capitalizzazione di mercato. Un indice alfa positivo indica che titolo ha avuto una performance superiore a quella offerta dal mercato, mentre un indice alfa negativo indica che il titolo ha un rendimento inferiore a quello del mercato. MU ha avuto un rendimento superiore a quello del mercato di oltre il 17% mentre Intel del 3% inferiore.

In conclusione, in base alle valutazioni complessive effettuate<sup>25</sup>, le azioni ADI e TXN seppur presentando in base all'analisi dei multipli una lieve sopravvalutazione, registrano buoni valori finanziari e un rendimento in relazione al rischio al ribasso piuttosto conveniente, per cui si ritiene di mantenere la posizione presa (Hold) per entrambe le azioni. Il titolo MU è quello complessivamente più vantaggioso con la possibilità di realizzare un margine di profitto in relazione al valore stimato e alla crescita dell'azienda. La valutazione del titolo è un buy, tenendo in considerazione che il fattore di rischio principale risiede nella lotta commerciale tra Cina e Usa che come ribadito precedentemente, pesa per ben il 15% del fatturato di Micron Technology, una misura che non indica una dipendenza economica, ma che influisce in modo rilevante nell'economia

---

<sup>25</sup> Le valutazioni si basano su dati storici passati che non assicurano gli stessi risultati in futuro

dell'azienda. Tuttavia, considerando per ipotesi un calo dei ricavi di un settimo del totale, l'azienda presenta comunque un certo margine di crescita anche se più basso.

L'azione QCOM presenta un fair value inferiore al prezzo di mercato, ritenendo che possa ritornare sui valori all'incirca del 2021 in un periodo di 1/2 anni. Il rischio rispetto a MU è maggiore in quanto Qualcomm mostra una situazione debitoria più elevata, un rendimento in relazione al rischio non troppo alto e un maggior rischio rispetto al mercato rappresentato da un indice di Treynor più basso di quello dei competitors.

INTC registra valori generalmente non positivi, anche se ha un valore di mercato inferiore al suo potenziale. Le azioni di Intel hanno subito un impatto negativo nel 2022 con ricavi al di sotto dei suoi standard, che dovrebbe continuare anche nel 2023, per poi riprendersi successivamente. Comunque sia Intel sta investendo in modo sostanziale in CAPEX, in particolare sta costruendo degli impianti in Europa che secondo le stime dell'azienda stessa dovrebbero essere operativa tra il 2025-2027 con l'obiettivo di aumentare i ricavi. Nel breve periodo non si ritiene Intel un investimento conveniente anche alla luce di investimenti alternativi come possono essere i titoli privo di rischio, ma in un'ottica di medio-lungo periodo (3-5 anni), le quote possono apprezzarsi raggiungendo valori migliori.

## CONCLUSIONE

Il presente lavoro ha descritto nel primo capitolo alcune criticità che ne determinano la struttura competitiva. Le elevate barriere all'entrata, dovute ai notevoli investimenti in ricerca, fabbriche e know-how, limitano la presenza di nuovi player. La capacità produttiva negli ultimi anni è stata influenzata da diversi fattori in particolare l'aumento di domanda e la crisi dei semiconduttori provocando degli impatti negativi su alcune aziende, le quali detengono, soprattutto quelle asiatiche, la maggior parte delle quote di mercato nella frazione legata alla produzione di wafer mentre il design e l'assemblaggio sono a favore di aziende americane. Nel secondo capitolo sono state considerate le influenze esterne, come la demografia con l'aumento della popolazione mondiale e l'espansione della classe media nei mercati emergenti hanno portato ad una maggiore domanda di semiconduttori. Dal lato normativo, le leggi e i regolamenti possono avere un impatto significativo sul settore, ad esempio, le restrizioni all'esportazione di tecnologia tra USA e Cina possono limitare la capacità delle aziende di semiconduttori di vendere i loro prodotti a livello globale.

Dal punto di vista macroeconomico, negli ultimi anni si è verificato un aumento dell'inflazione facendo aumentare il costo del capitale per gli investimenti. In tale contesto alcune aziende si sono adattate meglio come ADI e TXN mentre altre hanno sofferto maggiormente come Intel e Qualcomm. Infine, i fattori tecnologici sono forse il più grande motore di cambiamento nel settore dei semiconduttori. Si è visto che con il diminuire delle dimensioni quando si lavora nell'ordine dei nanometri, le leggi fisiche dei materiali tendono a cambiare e perciò è necessario un cambiamento nelle tecniche di produzione con progressivi investimenti in ricerca e sviluppo. Nel l'ultimo capito si è svolta un'analisi specifica di un insieme di aziende simili in cui è emerso come Micron Technology presenta ottimi rendimenti in relazione al rischio e un valore di mercato del titolo al di sotto del suo valore intrinseco.

I semiconduttori hanno permesso lo sviluppo di tecnologie moderne e continueranno ad essere uno dei settori maggiormente in sviluppo nei prossimi decenni.

## APPENDICE

### MECCANICA QUANTISTICA

Nel 1900 il fisico Max Planck è considerato il padre della meccanica quantistica per la seguente formula:

$$E = hv$$

E = energia del quanto

V= frequenza di radiazione

h = la costante di Planck

La formula ci dice che il prodotto della frequenza di radiazione per la costante di Planck è uguale all'energia associata al quanto, o più semplicemente che l'energia viene emessa e assorbita dalla materia in piccoli pacchetti discreti (quanti).

Esiste anche la costante di Planck ridotta per calcolare la quantizzazione del momento angolare ed è pari a

$$\hbar \equiv \frac{h}{2\pi}$$

Successivamente nel 1913 Niels Bohr elabora un modello atomico secondo cui gli elettroni potevano occupare solo certi livelli di energia e la distanza tra una orbita o livello dall'altro era pari alla costante di Planck. Inoltre, quando l'atomo riceve energia l'elettrone si sposta in orbite superiori, addirittura se riceve troppa energia può staccarsi dal nucleo, mentre quando l'elettrone scende di orbita rilascia energia sottoforma di fotoni (luce).

Nel 1924 Louis Victor De Broglie sviluppa la formula:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$\lambda$  = Lunghezza d'onda

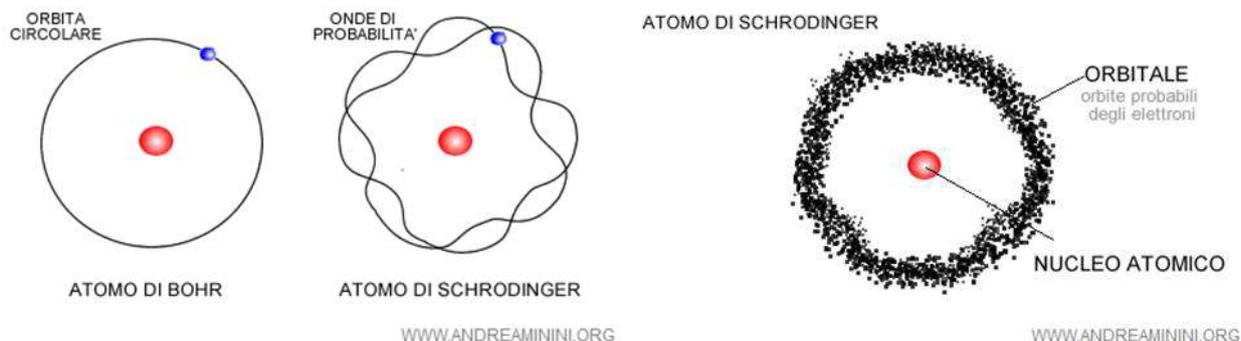
$h$  = costante di Planck

$p$  = quantità di moto ( $mv$ )  $m$  = massa particella  $v$  = velocità particella

$c$  = velocità della luce

L'idea della formula era di associare ad ogni elettrone una sua lunghezza d'onda, dimostrando che a livello microscopico la natura si manifesta in due modi: ondulatorio e corpuscolare. Questa formula si può calcolare anche per le persone, cellulari, televisori o altro, ma il risultato è di una lunghezza d'onda molto piccola ed è per questo motivo che nel macro-mondo non si presenta la dualità ondo-particella poiché la lunghezza d'onda è direttamente proporzionale alla costante di Planck e inversamente proporzionale alla quantità di moto. Gli oggetti macroscopici hanno una massa troppo grande rispetto alla costante di Planck che è un valore molto piccolo.

Nel 1926 Erwin Schrödinger pubblica la cosiddetta equazione di Schrödinger, per calcolare le onde di probabilità, ossia le orbite intorno al nucleo ove l'elettrone potrebbe orbitare con maggiore probabilità. Da questa equazione l'immagine che si ha degli atomi i cui elettroni girano intorno al nucleo su delle orbite cambia, nel senso che ci sono delle nubi attorno al nucleo in cui gli elettroni possono trovarsi:



L'equazione di Schrödinger descrive l'evoluzione temporale dello stato di un sistema, ad esempio di una particella, di un atomo o di una molecola. È un'equazione differenziale alle derivate parziali, lineare, complessa e non relativistica che ha come incognita la funzione d'onda, introdotta basandosi sull'idea di De Broglie che a livello quantistico la natura si manifesta come onda o come particella.

Successivamente a Max Born venne l'idea di ricercare l'elettrone attraverso la funzione d'onda in cui la dinamica è descritta dall'equazione di Schrödinger. Inoltre, l'insieme degli stati quantistici porta

alla costruzione di spazi di dimensione superiore che prendono il nome di “spazi di Hilbert” sviluppati da David Hilbert, che permettono di rappresentare i diversi stati fisici del sistema.

Nel 1927 Werner Karl Heisenberg propose il principio di indeterminazione, secondo cui nei sistemi quantistici come con gli elettroni non si possono sapere contemporaneamente la velocità e la posizione di questi elettroni, perché il solo atto di misurare, influisce sul risultato, infatti quando si osserva qualcosa lo si può fare grazie alla luce che è formata da fotoni (particella elementare) che quando colpisce un oggetto macroscopico non lo influenza ma quando colpisce un qualcosa di microscopico come un elettrone ne condiziona lo stato. La formula che descrive quanto detto è:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$\Delta x$  e  $\Delta p_x$  rappresentano rispettivamente l'incertezza (deviazioni standard) della posizione e quantità di moto. Essendo il prodotto delle incertezze qualcosa di positivo o uguale ad un certo valore minimo ( $\hbar/2$ ) ci sarà sempre una incertezza. Inoltre, se si riducesse l'incertezza sulla posizione aumenterebbe quella sulla quantità di moto e viceversa. Questo principio vale per tutti i corpi, sia macroscopici sia microscopici, però per gli oggetti che ci circondano (macroscopici) a delle conseguenze pratiche quasi inesistenti.

Sempre nel 1927 Niels Bohr oltre ad aver presentato il modello atomico, propose il principio di complementarità secondo cui a livello atomico duplici aspetti (ad esempio fenomeni ondulatori o corpuscolari) non possono essere osservati contemporaneamente.

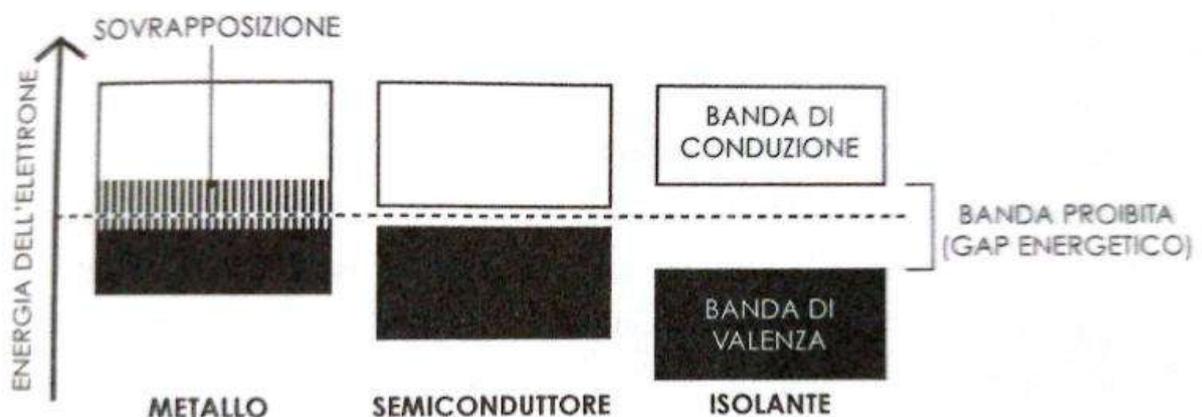
Il principio di indeterminazione, il principio di complementarità e l'interpretazione probabilistica di Born, definiscono “l'interpretazione di Copenaghen” che rappresenta la versione interpretativa ufficiale della meccanica quantistica, seppur in contrasto con altri scienziati dell'epoca tra cui Albert Einstein.

## L'ELETTRONE

In base al modello atomico di Bohr, gli elettroni possono trovarsi solo in determinate livelli o orbite e se acquisisce energie può saltare a delle orbite superiori, addirittura con molta energia potrebbe anche uscire dall'atomo; mentre se rilascia energia l'elettrone scende in orbite più basse. Le zone che separano i diversi orbitali sono spazi nei quali l'elettrone non può stare.

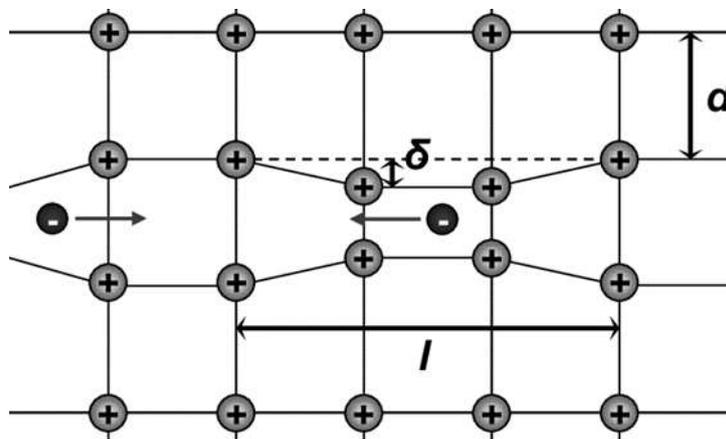
Si è visto che, quando il rapporto  $S/V$  aumenta nell'intervallo dei nanometri avvengono dei cambiamenti nelle proprietà delle particelle dovute a variazioni della struttura elettronica degli atomi. Queste variazioni influenzano anche l'insieme dei livelli energetici chiamate anche bande di energia. Le bande di energia si dividono in primo luogo in bande di valenza, che corrispondono all'ultimo livello di orbitale in cui si possono trovare gli elettroni, i quali sono responsabili di creare legami atomici e di conseguenza la struttura interatomica. In secondo luogo, ci sono le bande di conduzione, sono quegli elettroni liberi che hanno acquistato energia sufficiente per svincolarsi dall'atomo. Ed infine ci sono le bande proibite chiamate anche Gap energetici, si trovano tra la banda di valenza e quella di conduzione, e rappresenta una barriera che impedisce agli elettroni di passare da una banda all'altra.

A seconda della dimensione della banda proibita i materiali si classificano in conduttori elettrici, riguardano i metalli puri, sono eccellenti conduttori elettrici poiché la banda di valenza e di conduzione si sovrappongono, per cui gli elettroni si spostano piuttosto facilmente anche naturalmente. Poi ci sono i semiconduttori, in questo caso gli elettroni di valenza non hanno energia sufficiente per spostarsi nella banda di conduzione, ma un apporto esterno (umano o ambientale) sotto forma di differenza di potenziale o aumento della temperatura, è sufficiente affinché l'elettrone superi il gap energetico passando dalla banda di valenza a quella di conduzione. Infine, ci sono gli isolanti, che presentano un gap energetico molto elevato, per cui risulta molto difficile il passaggio di elettroni.



Bande di conduzione, di valenza e gap energetico nei metalli, nei materiali semiconduttori e negli isolanti.

Studiando le bande proibite dei materiali mettendole in relazione con la temperatura i fisici Bardeen, Cooper e Schrieffer svilupparono la teoria BCS che permette di spiegare la superconduttività<sup>26</sup> e per cui valse loro il premio Nobel per la fisica del 1972. Questa teoria si basa sul fatto che gli elettroni percorrono il conduttore a coppie dando origine a quelle che vengono chiamate coppie di Cooper. Cariche dello stesso segno si respingono per cui due elettroni avendo carica negativa dovrebbero respingersi, ma ciò non succede perché una forza più potente attrattiva fa attrarre questi elettroni superando la forza della loro repulsione. Infatti, quando un elettrone passa in mezzo ad un gruppo di ioni positivi molto più pesanti, fa attrarre questi ioni verso di esso provocando uno spostamento. Dopo quando l'elettrone passa, gli ioni positivi impiegano più tempo per tornare alla posizione originaria e nel frattempo, passando un altro elettrone si unisce a quell'altro.



Quindi gli elettroni si muoveranno come un'unica entità, che viene chiamata quasiparticella (fononi) e che non è più un fermione ma un bosone. Il motivo per cui diventano bosoni è che, quando una corrente elettrica percorre un circuito genera delle vibrazioni simili a quelle del suono, per questo chiamate fononi, che attirerebbe l'altro elettrone, diventando una particella con spin intero. Queste vibrazioni a livello di grandezza del nanometro generano delle variazioni nella struttura cristallina. Quanto detto corrisponde a livello macroscopico alla legge di Ohm in cui si produce resistenza tra lo scontro degli elettroni. Tuttavia, quando si lavora con su nanoscala la legge di Ohm non è più applicabile.

<sup>26</sup> Si veda diffusamente, La nanotecnologia & la sua descrizione matematica, RBA (2021)

## SPINTRONICA

La spintronica, intesa come elettronica basata sullo spin, nasce dalla nanoelettronica e dallo studio dell'elettrone, con l'obiettivo di sviluppare tecnologie di memorizzazione e di elaborazione delle informazioni sfruttando lo spin degli elettroni invece che della loro carica elettrica.

Le cariche elettriche generano un campo magnetico proporzionale al momento angolare (momento d'inerzia ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ) per velocità angolare ( $\text{rad/s}$ )), tuttavia alcune particelle prive di momento angolare generano comunque un campo magnetico che è intrinseco ed è dovuto allo spin.

Lo spin (rotazione) è una grandezza (numero quantico) che permette di descrivere la particella. Lo spin può assumere valori:

- Interi (fotoni, gluone, bosone  $w$  e  $z$ ), le cui particelle vengono dette bosoni, e non vale il principio di esclusione di Pauli<sup>27</sup> per cui più particelle possono condividere uno stesso stato energetico. I bosoni obbediscono alla distribuzione di Bose-Einstein, cioè una distribuzione statistica che permette di trovare il numero di particelle in un determinato stato.
- Semi-interi (elettroni, neutroni, protoni, quark), le cui particelle vengono dette fermioni, in cui vale il principio di esclusione di Pauli per cui le particelle non potranno avere i numeri quantici uguali nello stesso sistema e nello stesso istante. I fermioni obbediscono alla distribuzione di Fermi-Dirac, cioè una distribuzione statistica che permette di trovare il numero medio di fermioni in un certo stato energetico.

Valori interi di spin indicano che compiono un giro completo mentre valori semi-interi indicano che non compiono un giro completo. Inoltre, esistono valori di spin:

- Positivi (ad esempio  $+1/2$ ) girano in senso orario e vengono anche detti "spin up"
- Negativi (ad esempio  $-1/2$ ) girano in senso antiorario e vengono anche detti "spin down"

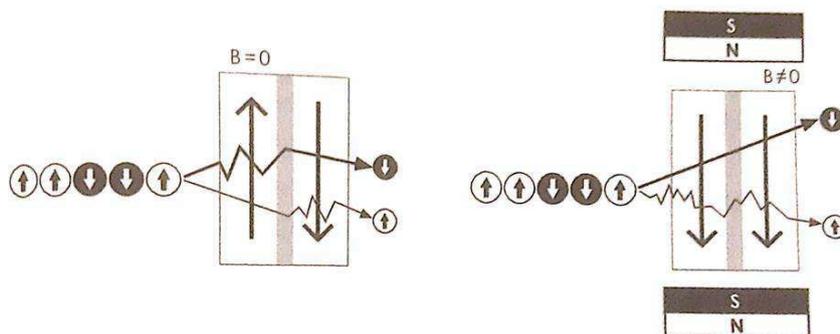
Quanto appena descritto serve per introdurre il concetto di magnetoresistenza, cioè una proprietà di alcuni materiali di cambiare il valore della loro resistenza elettrica in presenza di un campo magnetico esterno. Tale effetto venne scoperto da Kelvin ma non riusciva a giustificare questa

---

<sup>27</sup> Principio fondamentale della fisica secondo il quale due fermioni non possono occupare lo stesso stato quantico simultaneamente (Treccani).

scoperta, la cui spiegazione deriva dallo spin dell'elettrone. Infatti, quando abbiamo un flusso di corrente elettrica, ogni elettrone può avere uno spin up o uno spin down, che nella elettronica non è molto rilevante ma nella spintronica è fondamentale.

Se noi utilizziamo dei materiali ferromagnetici (proprietà di alcuni materiali di magnetizzarsi sotto l'azione di un campo magnetico esterno e di restare a lungo magnetizzati quando il campo si annulla) gli elettroni si distribuiscono in modo tale che l'atomo stesso ha uno spin comportandosi come un piccolo magnete, avendo tutti gli atomi del materiale ferromagnetico con spin nella stessa direzione.



Magnetoresistenza gigante. In assenza di campo magnetico si hanno magnetizzazioni opposte (a sinistra), mentre in presenza di un campo magnetico le due magnetizzazioni coincidono (a destra).

La riga in mezzo grigia in figura che separa le due frecce indica una barriera di materiale non magnetico utilizzata per separare i flussi magnetici

Dalla figura si può notare che, quando gli elettroni (compresi sia di spin up che down) passano nel materiale ferromagnetico (ferro, nichel, cobalto) se il materiale è non magnetizzato ( $B=0$ ), il campo magnetico ha magnetizzazioni opposte rappresentate dalle frecce in contrapposizione. In questo caso gli elettroni con spin up passano senza resistenza nel primo strato poiché la magnetizzazione dello spin dell'elettrone e del materiale ferromagnetico sono paralleli mentre nel secondo strato si incontra una resistenza dovuta al fatto che sono antiparalleli. Viceversa, succede per l'elettrone con spin down. Mentre se il materiale è magnetizzato ( $B \neq 0$ ), il campo magnetico ha magnetizzazione nella stessa direzione rappresentate dalle frecce parallele. In questo caso gli elettroni con spin up hanno una maggiore resistenza poiché ha magnetizzazione opposte al materiale mentre lo spin down passa senza problemi dato che la magnetizzazione dello spin e del materiale sono parallele, e ciò si traduce in una riduzione della resistenza.

Inoltre, quando abbiamo un materiale ferromagnetico abbiamo la capacità di far cambiare la direzione dello spin da up a down o viceversa, in modo piuttosto facile, infatti basta illuminare il materiale, riducendone le dimensioni, o applicando una corrente elettrica.

Il vantaggio della magnetoresistenza è la possibilità di associare un sistema binario basato sulle cifre 0 ad esempio allo spin down e 1 allo spin up, ossia nel linguaggio con il quale è possibile realizzare le operazioni che è in grado di svolgere un computer. In aggiunta, rispetto alle correnti elettriche in cui c'è un flusso di elettroni, nella spintronica si utilizzano le cosiddette onde di spin che sono simili alle onde elettromagnetiche o onde sonore, ma riguardano gli spin ed è una perturbazione che funzionano tramite il bosone Magnone, corrispettivo del fotone per le onde elettromagnetiche. Le onde di spin ce le possiamo immaginare come una "Ola" allo stadio, in cui gli spettatori non si spostano ma si alzano e abbassano, così gli spin non si spostano ma svolgono la funzione di passaggio dell'onda sfruttando le loro proprietà magnetiche invece della carica elettrica. Quindi non si verifica un flusso di elettroni ma gli elettroni rimangono fermi e si sfrutta gli spin, in questo modo si eviterebbe anche il problema dell'effetto tunnel che potrebbero creare problemi sulla rilevazione dello stato zero o uno, e si ridurrebbe notevolmente la resistenza.

Tutto questo ha permesso di aumentare notevolmente la capacità di memoria, di ridurre il costo e di ridurre le dimensioni.

A scopo informativo esiste anche la magnetoresistenza a effetto tunnel, che funziona nello stesso modo rispetto alla normale magnetoresistenza, ma a differenza della barriera fatta di un materiale non magnetico, essa viene sostituita da un materiale isolante dotato di un gap energetico irraggiungibile per la particella ma grazie all'effetto quantistica esiste una certa probabilità di attraversarla.

In conclusione, si può affermare che la spintronica, grazie alla sua elevata velocità di accesso alle informazioni, capacità di calcolo e il suo costo ridotto, potrebbe essere utilizzata nel futuro per l'industria dei big data, i mercati finanziari, i servizi di memorizzazione e tanto altro spingendo lo sviluppo tecnologico e commerciale verso questa direzione.

## **BIBLIOGRAFIA**

Asan Institute for Policy Studies, Technology Competition and the Challenges of Rebuilding, JSTOR (2021)

Biagio S, Chip, la crisi investe Samsung - Peggior risultato dal 2009, Il sole 24 ore (2023)

Bilanci annuali 2022 di AMD, TXN, QCOM, MU e INTC

Bellomo S, Grosso guaio da Taiwan, Tsmc aumenta i prezzi dei chip fino al 20%, Il sole 24 ore (2021)

Bricco P, Pechino, la supremazia strategica sulle terre rare è destinata a durare, Il Sole 24 ore (2022)

Clark R, Bartlett S, Bremner M, Lam P, Ralph T, Quantum Computing, JSTOR (2021)

Devoret M, Schoelkopf R, Superconducting Circuits for Quantum Information: An Outlook, Science (2013)

Fatiguso R, La Cina di Xi: «Nessuno può intimidirci, Taiwan sarà nostra», Il solo 24 ore (2021)

La computazione quantistica & gli spazi vettoriali, RBA (2021)

La nanotecnologia & la sua descrizione matematica, RBA (2021)

Marroni C, 2022, Modello assegno unico per sostenere le famiglie, Il sole 24 ore

McDermott R, Lee S, Haken B, Trabesinger A, Pines and Clarke J, Microtesla MRI with a Superconducting Quantum Interference Device, PNAS (2013)

Murgia M, Bradshaw T, Waters R, Chip wars with China risk 'enormous damage' to US tech, Financial Times (2023)

Report annuale di United Microelectronics Corporation (2022)

Valsania M, Pechino gela gli Usa e vieta i chip di Micron, Il sole 24 ore (2023)

## **SITOGRAFIA**

[www.tsmc.com](http://www.tsmc.com)

[www.truenumbers.it](http://www.truenumbers.it)

[www.trendforce.com](http://www.trendforce.com)

[www.populationpyramid.net](http://www.populationpyramid.net)

[www.ec.europa.eu/eurostat](http://www.ec.europa.eu/eurostat)

[www.ecb.europa.eu](http://www.ecb.europa.eu)