

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

A.a. 2024/2025

Sessione di Laurea Aprile 2025



**Politecnico  
di Torino**

**Analisi bibliografica sulla  
gestione degli  
approvvigionamenti automotive**

La carenza di semiconduttori

Relatore:  
Anna Corinna Cagliano

Candidato:  
Giuseppe Defraia

# Indice

INTRODUZIONE .....	4
CAPITOLO 1 – SUPPLY CHAIN AUTOMOTIVE.....	5
1.1 Nascita del Just in Time .....	5
1.1.1 Caso Di Successo .....	6
1.2 Riduzione dei Costi, Fusioni e Delocalizzazione.....	7
1.3 Ruolo degli OEM e dei Fornitori .....	9
1.4 Evoluzione dell’auto .....	10
1.4.1 Dalla Meccanica all’elettronica.....	10
1.4.2 Avvento degli ADAS .....	12
1.5 La Pandemia Covid-19 e conseguenze sul mercato dell’auto .....	13
1.5.1 Misure di Lockdown.....	13
1.5.2 La Crisi dei Semiconduttori nell’Auto .....	14
1.6 Cause della carenza e strategie di resilienza degli OEM .....	15
1.6.1 Complessità della Catena di Fornitura dei semiconduttori .....	16
1.6.2 Problematiche Geopolitiche .....	17
1.6.3 Shock esterni ed eventi geologici .....	18
1.6.4 Complessità del Processo produttivo dei Chip .....	18
1.7 Strategie di breve e lungo periodo .....	20
1.8 Nuovi indicatori di Performance e limiti del Just In Time .....	21
1.9 Conclusione .....	22
CAPITOLO 2-REVISIONE DELLA LETTERATURA .....	23
2.1. Metodologia.....	23
2.2 Classificazione degli articoli scientifici.....	24
2.3. CRISI DEI SEMICONDUTTORI NEL SETTORE DELL’AUTO.....	26
2.3.1 The “Semiconductor Crisis” as a result of the COVID-19 Pandemic and Impacts on the Automotive Industry and Its Supply Chains [#1].....	26
2.3.2 The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies [#2] .....	27
2.3.3 Understanding systemic disruption from the Covid-19-induced semiconductor shortage for the auto industry [#3] .....	30
2.3.4 Analysing the Impact of Covid-19 on Automobile Sales in India Using ARIMA Modelling [#4].....	31
2.3.5 Covid-19 and transformational megatrends in the european automotive industry: Evidence from business decisions with a central and eastern european focus [#5] .....	32
2.3.6 An Analysis on the Crisis of "Chips shortage" in Automobile Industry —Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction [#7].....	33

2.3.7. A Systematic Approach to Mitigate Semiconductor Chip Shortage: Insights and Solutions for the Future Automotive Industry [#9].....	35
2.3.8. Understanding the EV Semiconductor Chip Sustainable Supply Chain Chip Shortage [#10] .....	37
2.4. CRISI DEI CHIP NEL SETTORE AUTO E PC.....	38
2.4.1 Perspectives on Supply Chain Management in a Pandemic and the Post-COVID-19 Era [#6].....	38
2.4.2 The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies [#2] .....	39
2.5. SUPPLY CHAIN RISK MANAGEMENT .....	42
2.5.1 COVID-19: Outcomes for Global Supply Chains [#8].....	42
2.6. ANALISI CRITICA DELLA FONTI .....	44
CAPITOLO 3 - CONCLUSIONI .....	49
GLOSSARIO.....	54
BIBLIOGRAFIA .....	55
SITOGRAFIA.....	56

# INTRODUZIONE

L'attuale crisi che sta attraversando l'industria dell'auto nel vecchio continente è senz'altro figlia di una serie di fattori politici e globali. La decisione dell'Europa e del resto del mondo di navigare verso la transizione ecologica non riesce a placare ma anzi incentiva l'avanzata cinese, la quale sta già ribaltando gli equilibri di forza nel mercato asiatico. La Giapponese Toyota, che attualmente ricopre il ruolo di primo produttore di auto al mondo, sta venendo minacciata persino nel suo mercato interno [38]. La casa cinese BYD ha infatti cominciato l'anno portandosi in testa alla classifica delle vendite di veicoli elettrici in territorio nipponico. Nel panorama mondiale quest'ultima ha già spodestato Honda, Ford, Hyundai e Nissan, portandosi al 3° posto nella classifica di venditori d'auto 2024 [39]. Mantiene il secondo posto Volkswagen, la quale si è trovata, assieme ai competitor europei ad affrontare nuove sfide, legate appunto alla necessità di produrre veicoli più sostenibili e allo stesso tempo economici. L'Asia, negli anni passati, aveva giocato un ruolo cruciale, nel far sì che molti OEM potessero abbassare i loro costi di produzione; ed hanno percorso questa strada anche i loro fornitori diretti dell'automotive. Scopo di questo progetto di tesi vuole essere quello di presentare una panoramica di come appare ad oggi la catena di fornitura dell'auto, ponendo il focus sul componente più piccolo ma enormemente richiesto, soprattutto per le auto di nuova generazione. Stiamo parlando dei **Semiconduttori**, senza i quali le centraline elettroniche (ECU) non potrebbero funzionare. Inizialmente le grandi case non avevano dato troppa importanza al reperimento sul mercato di apparecchi che potevano costare poche decine di dollari, delegando infatti questo compito ai loro fornitori. L'avvento però della Pandemia Covid-19 ha portato l'industria a rimettere in discussione le logiche che regolano l'attuale Supply Chain, in cui la cieca corsa verso un'esasperata efficienza, ne aveva oscurato i fattori di resilienza.

Quest'opera, quindi, comincerà introducendo lo stato dell'arte degli approvvigionamenti del settore automotive, raccontandone i principali attori e le loro scelte strategiche in fatto di fusioni e delocalizzazioni. La trattazione proseguirà poi per inoltrarsi sul mercato dei chip e sulla loro maturata esigenza per i costruttori di veicoli odierni, analizzandone le criticità, insorte specialmente durante la pandemia Covid-19. Lo studio si basa sulla analisi di opere di altri autori, allo scopo di fornire un sunto degli studi open source oggi esistenti, ottemperando alla necessità di fornire suggerimenti e critiche per gli anni a venire.

# CAPITOLO 1 – SUPPLY CHAIN AUTOMOTIVE

Il capitolo introduttivo, mira a dare tutti gli elementi necessari a comprendere il contesto della fornitura dell'auto e le sue evoluzioni. In esso saranno trattati l'impiego della Lean Production e le logiche di profitto che hanno orientato le scelte delle case automobilistiche negli ultimi decenni. Sarà poi affrontato il tema della crisi dei semiconduttori, presentatosi durante la Pandemia Covid-19, analizzando il fenomeno e fornendo esempi di come gli OEM abbiano tentato di contrapporsi ad essa.

## 1.1 Nascita del Just in Time

La catena di fornitura del settore Automotive è un esempio virtuoso di applicazione della Lean Production. La riduzione degli sprechi è strettamente connessa all'impiego del modello Just in Time. Eiji Toyoda, nipote del fondatore e presidente della Toyota riassunse il concetto Just-in-Time nel seguente modo:

*“Just make what is needed in time, but don't make too much.”*

*Toyota: Fifty Years in Motion:, pp. 57-58 by Eiji Toyoda.*

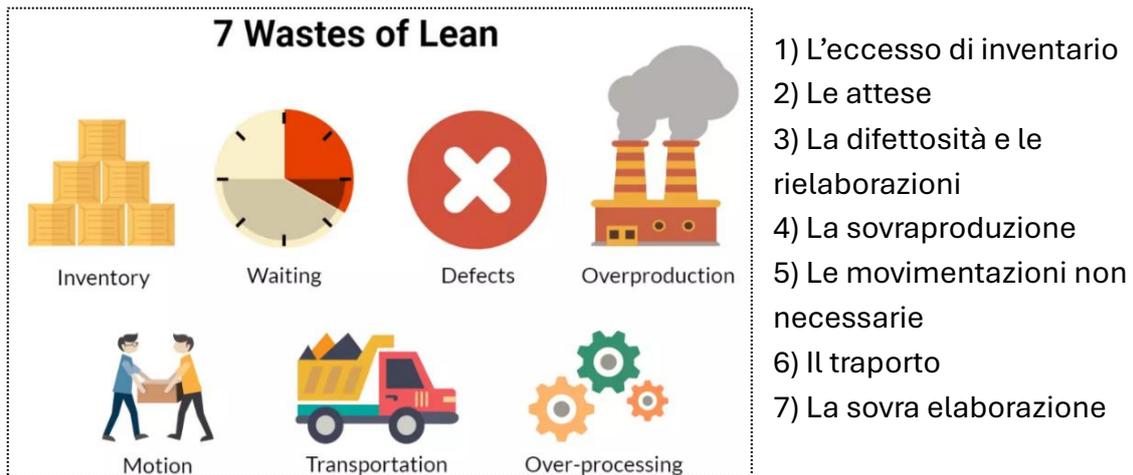
Questo concetto può essere considerato come linea guida nell'organizzazione dei processi produttivi che mirano a raggiungere l'efficienza. Grazie a una previdente programmazione, il rifornimento dei materiali di trasformazione può avvenire esattamente nel momento in cui essi vengono richiesti, ottenendo lo scopo di ridurre i costi legati all'accumulo di scorte.

Tali accorgimenti hanno fatto sì che la linea di produzione fosse sempre trainata dalla domanda, evitando così di accumulare l'invenduto nei piazzali dei concessionari. In termini economici, una sovrapproduzione esporrebbe ai rischi di giacenza annessi a una grossa immobilizzazione di capitale.

L'automobile, specie se di fascia media, è un bene materiale che tende a svalutarsi velocemente nel tempo; generalmente dopo un orizzonte di circa 3 anni, un vecchio modello viene aggiornato con uno nuovo, per poi essere sostituito da un più recente “model year” dopo 6 anni [1]. Per tali ragioni sarebbe bene per i produttori non incorrere in avanzi di magazzino.

### 1.1.1 Caso Di Successo

La casa giapponese **Toyota** è senza dubbi un esempio virtuoso della Lean Production, grazie alla quale è diventata uno dei più grandi produttori di auto di successo al mondo [21]. Ponendo il focus sull'eliminazione degli sprechi e l'aumento dell'efficienza, vi è stato anche un netto miglioramento della qualità dei suoi prodotti. Fu l'ingegnere Taiichi Ohno, negli anni '50, colui che diede inizio a tale tipo di strategie, identificando le 7 cause di spreco in ambito produttivo, richiamate nell'immagine 1.a. Nemici dell'efficienza sono dunque:



**Figura 1.a.** Sette sprechi nella Lean Production [22]

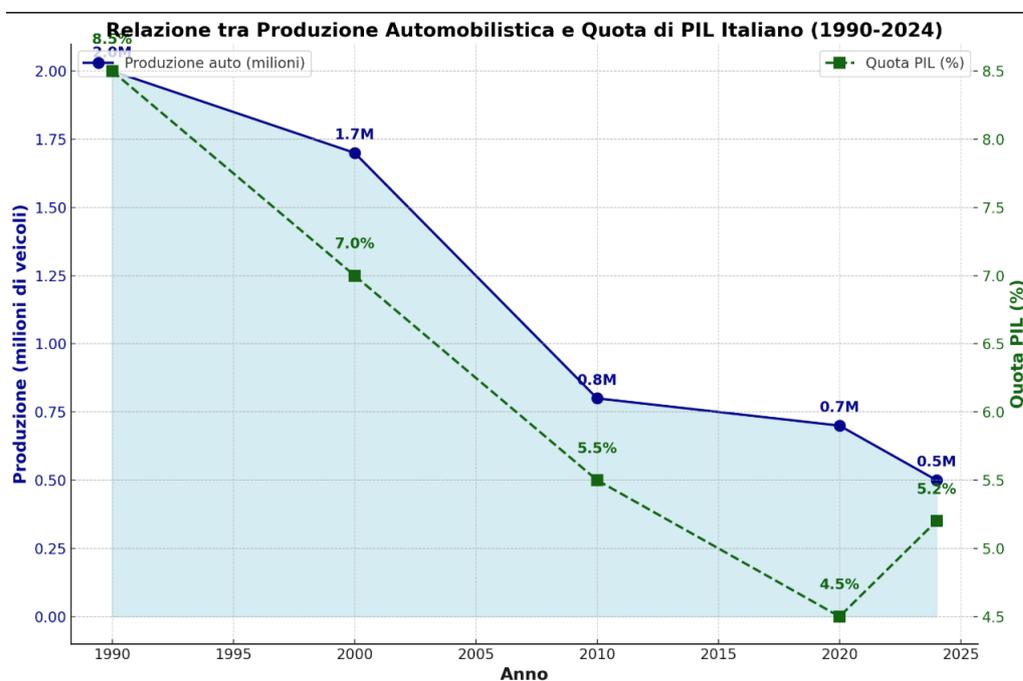
Tra le regole principali, il punto 7 è quello con il significato meno immediato. La sovra elaborazione è quella causa di spreco generata dal fatto di svolgere un lavoro a basso valore aggiunto. L'inserimento di funzionalità extra in un determinato prodotto deve essere valutato in funzione dell'utilità che ne trarrà il cliente. Se questi non sarà disposto a pagare un supplemento, aumenteranno di conseguenza soltanto i costi aziendali. Altro lato della medaglia, potrebbe essere per una azienda, il dover richiedere eccessive autorizzazioni per brevi attività della linea; meglio piuttosto definire quali saranno le milestones di processo, per cui è necessario procedere a un controllo dei supervisori. Obiettivo cruciale della Azienda, è dunque quello di creare valore in ogni fase della lavorazione. L'inserimento negli anni 2000 dell'intelligenza artificiale [21] al servizio della riduzione della difettosità, ha fatto sì che si riducessero di gran lunga gli errori umani. Toyota ha sostenuto l'impiego di sensori e telecamere al posto degli operai, ritenendo che degli occhi elettronici fossero molto più affidabili in questa fase di processo. Tale implemento ha portato a un ulteriore riduzione dei tempi di consegna e conseguente aumento della produttività.

## 1.2 Riduzione dei Costi, Fusioni e Delocalizzazione

Se con l'avvento della Rivoluzione industriale, la questione dell'auto aveva un sapore tutto nazionale, ad oggi, con l'avvento dei mercati globali e la necessità di **ridurre i costi**, la filiera corta è stata a mano a mano rimpiazzata dalla Grande Distribuzione Organizzata (GDO). La competizione tra le case nostrane e quelle extra-europee ha fatto sì che la produzione di diverse componenti veicolari venisse portata all'estero e operata dai fornitori diretti.

**L'esternalizzazione** ha portato sicuramente un aumento di efficienza, per quella componentistica molto specializzata e che richiedeva un alto tasso di investimenti continui in Ricerca e Sviluppo da parte delle case automobilistiche e che spesso si allontanava dal loro core business.

La **delocalizzazione** invece è un ulteriore meccanismo ben rodato in questo settore, e negli anni se ne sono avvalsi tutti i principali OEM e Fornitori [2]. Alcuni tipi di lavorazione, nonché la produzione di componentistica a basso valore aggiunto, rimangono sostenibili soltanto nelle economie di scala e/o in paesi per i quali la forza lavoro è indubbiamente meno costosa rispetto all'America e ai Paesi Europei. Le aziende italiane hanno subito come conseguenza un enorme perdita di posti di lavoro. La produzione di auto, negli anni '90 era di circa 2 milioni di veicoli nel territorio nazionale, Figura 1.b; tuttavia nell'arco di 20 anni si era già dimezzata, fino ad arrivare ai 500 mila veicoli del 2024. A causa di ciò sono stati persi quasi 200 mila posti di lavoro [23].



**Figura 1.b** Andamento della produzione di auto in Italia e relativo impatto sul PIL nazionale [23]

Altra particolarità che ha segnato l'industria è stata la **fusione** delle grandi case automobilistiche. Un esempio significativo è rappresentato da Stellantis, la quale è nata nel 2021 dall'unione di FCA (Fiat Chrysler Automobiles) ed il gruppo PSA. La nuova società racchiude oggi al suo interno marchi come FIAT, Alfa Romeo, Peugeot, Citroen e Jeep. Tale riorganizzazione ha portato a una notevole riduzione dei costi, generatasi soprattutto dalla condivisione degli impianti produttivi e delle piattaforme veicolari; un esempio di pianale viene riportato nella figura 1c. Il **telaio** è appunto la struttura portante delle varie parti che costituiscono una macchina ovvero il componente essenziale per qualsiasi mezzo di trasporto, sul quale sono montati tutti gli altri componenti caratteristici [28]. Veicoli complessi come le automobili, sono composte da una moltitudine di componenti, i quali costituiscono la sua **Distinta Base**.

Tra i più grandi vantaggi che Fiat-Chrysler ha riacquisito, volendosi integrare con il gruppo francese, vi è stato l'obiettivo di voler risolvere la sua mancanza di piattaforme modulari. Quest'ultime consentono di poter costruire modelli di auto diverse, ma partendo da una stessa base; sia per mezzi di diversa taglia che per tipologia di motorizzazione (termica, ibrida o elettrica) [24]. Quindi, accomunando buona parte della Distinta Base (BOM) di veicoli di marchi diversi, tale meccanismo ha senza dubbio esordito fornendo una spinta sinergica alla produzione, diminuendo i costi unitari e incrementando i profitti; auspicando una riduzione dei prezzi per i clienti finali [3].

Tra le difficoltà incontrate durante questo processo, vi erano senza dubbio diversità culturali, dato che FCA (Italo-Americana) mentre l'azionariato di PSA vedeva coinvolto lo stato francese. Ad oggi Stellantis rappresenta grazie ai suoi dipendenti fino a 170 diverse nazionalità in sei regioni del mondo [26]. Nel 2023 Stellantis, ha tratto giovamento dalla fusione, ottenendo ricavi netti per 189,5 miliardi di euro, con crescita del 6% rispetto all'anno precedente, grazie anche all'aumento dei volumi del 7% (6,4 milioni di veicoli). Anche le vendite di veicoli elettrici BEV sono aumentate del 21% [25].



Figura 1c. Piattaforma modulare di proprietà di PSA [27].

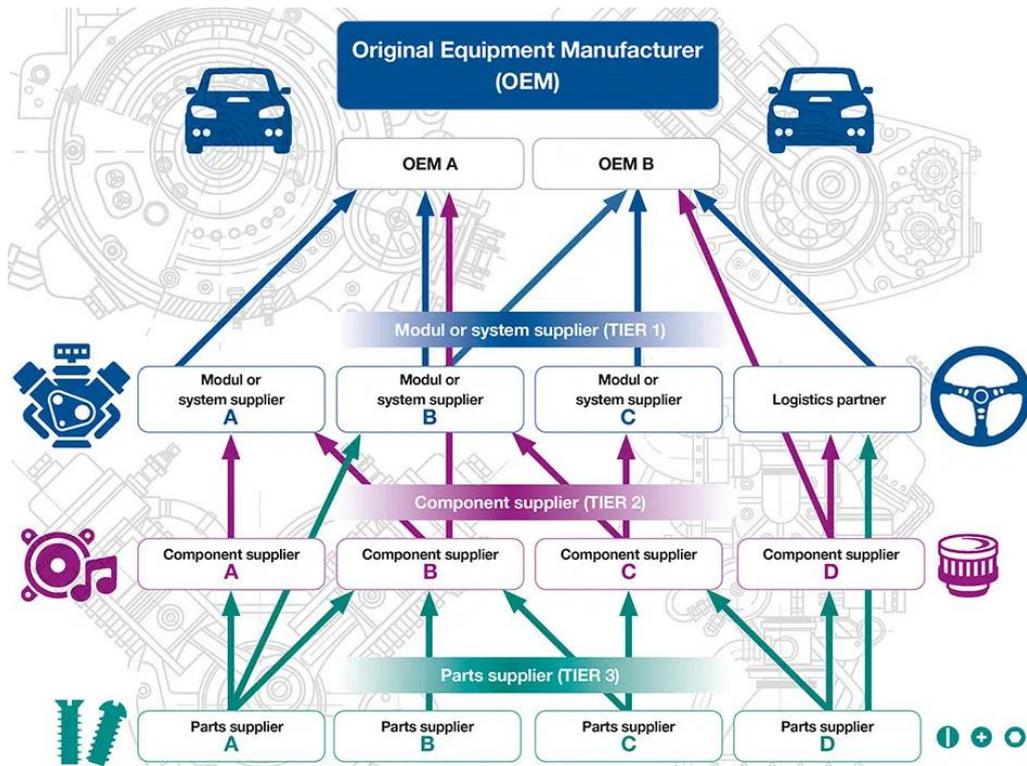
### 1.3 Ruolo degli OEM e dei Fornitori

In passato, i produttori di automobili avevano la capacità di progettare e produrre da sé l'intero veicolo. Invece ad oggi, le case automobilistiche hanno concentrato gli sforzi sul design e sull'assemblaggio delle componenti sul prodotto finale. La produzione è stata quindi delegata in parte a fornitori altamente specializzati e integrati nella filiera. Questi ultimi, a loro volta, potendo offrire i loro prodotti anche ad altri competitor, hanno reso maggiormente sostenibile lo sviluppo di determinati pacchetti di tecnologia.

Meccanismo tramite il quale si valutano i fornitori del livello sottostante, è quello degli **audit**. Essi comprendono diverse attività, finalizzate alla necessità di garantire il massimo controllo sul processo produttivo e prevenire ogni possibile fattore di rischio. Il fornitore deve quindi garantire una certa capacità di progettazione e realizzazione del prodotto commissionato, nonché la presenza di una assistenza post-vendita [30].

Nell'immagine 1.d viene messo a fuoco il processo di fornitura, il quale si avvale dei seguenti attori:

- OEM, car maker o original equipment manufacturing, è l'azienda automobilistica stessa; la quale produce autonomamente gran parte dell'auto, ma rivolgendosi esternamente per componenti al di fuori del proprio know-how o a basso valore aggiunto secondo logica del make or buy. La casa si occupa infine dell'omologazione.
- TIER 1, sono fornitori diretti focalizzati sulla produzione di moduli e sistemi, come ad esempio lo Sterzo, la strumentazione di bordo e il sistema HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Nel complesso essi agiscono come da integratori di sub componenti, fornendo così il prodotto finito agli OEM. I fornitori Tier 1 sono appunto i loro partner più stretti e con cui si instaurano azioni di sinergia e confronto sui nuovi progetti. Viene richiesto di rispettare lo standard **IAFT 16949**, "norma specifica che regola il Sistema di Gestione della Qualità per il settore Automotive" [29]. Tutti i loro processi devono quindi garantire un uso ottimizzato delle risorse, al fine di ridurre i costi di produzione e poter raggiungere gli obiettivi preposti. Mantenere un livello qualitativo costante è un requisito fondamentale per la produzione di serie.
- TIER 2, subfornitori di componenti e materie prime, altamente specializzati nel loro settore, e tendono a rivolgersi a un maggior numero di mercati, oltre a quello dell'Automotive. Un esempio sono i produttori di **semiconduttori** e Display.
- TIER 3, sono invece dei veri e propri grossisti di componenti semplici come le viti o le materie plastiche grezze, per i quali vi è una certa interscambiabilità nel mercato.



**Figura 1.d.** Rappresentazione grafica della Supply Chain Automotive, nella quale viene data evidenza dei livelli che la compongono [4].

## 1.4 Evoluzione dell'auto

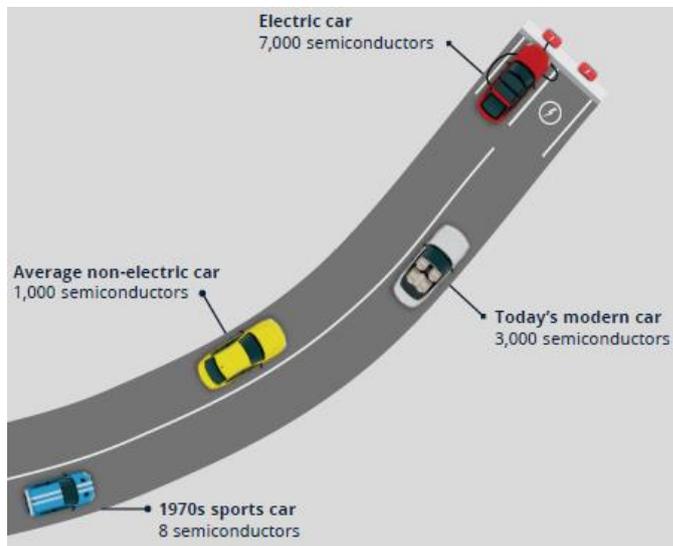
### 1.4.1 Dalla Meccanica all'Elettronica

L'automobile, alla sua nascita era un prodotto prettamente meccanico, mentre ad oggi si sta trasformando sempre più in un prodotto elettronico. Buona parte delle sue prestazioni, dispositivi di sicurezza e di regolazione dei sistemi antiinquinamento dipendono ormai dall'utilizzo di sensori e centraline.

A titolo di esempio è utile citare l'introduzione dell'**acceleratore elettronico** nei primi anni '90. Esso viene conosciuto anche come "drive-by-wire", trovando impiego inizialmente nelle supersportive e successivamente nella produzione dagli anni 2000. Tale dispositivo ha rivoluzionato la gestione dell'auto, consentendo un controllo più preciso della velocità del veicolo, apportando un contributo alla sicurezza e nella riduzione delle emissioni. Questo sistema consente quindi al guidatore di controllare l'accelerazione dell'auto, rendendola più uniforme e sicura

da gestire. Invece che tramite il classico cavo meccanico, nel momento in cui si preme il pedale del gas, un segnale digitale viene inviato all' unità di controllo elettronico (ECU), che agisce regolando a sua volta i giri del motore [31].

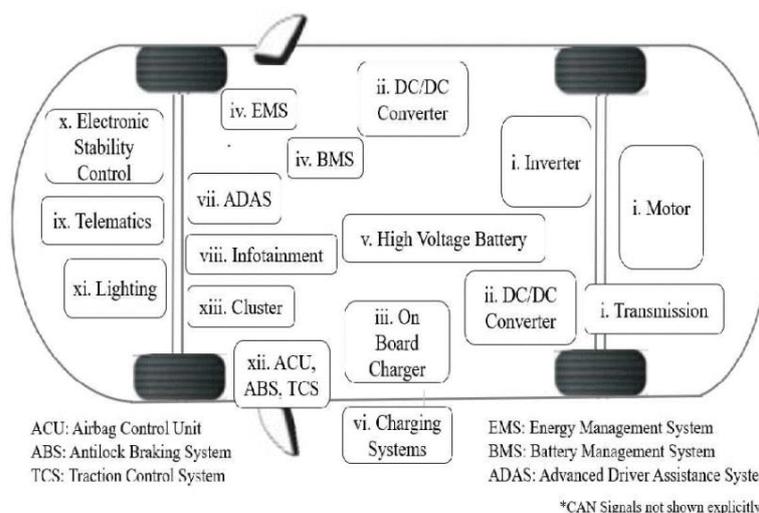
Tra le tecnologie che sono state introdotte in questi ultimi anni, rivestono un ruolo predominante i semiconduttori.



Rispetto agli anni '70, quando i veicoli endotermici potevano contenere un massimo di 8 semiconduttori, mentre ad oggi si è passati a una media di tremila semiconduttori. Le macchine elettriche di nuova generazione, inoltre, possono arrivare a contenerne fino a settemila [5]. La figura 1.e descrive tramite grafica questo incremento.

**Figura 1.e** Numero di chip nelle auto passate e odierne [5].

Questa necessità costruttiva è dovuta al fatto che la maggior parte delle funzioni, prima destinate all'idraulica e al motore termico, verranno gestite in futuro tramite l'ausilio di chip. Tralasciando le componenti che tutti i veicoli ormai condividono, quali il Cluster e i dispositivi di infotainment, i veicoli elettrici, presentano in aggiunta la necessità di dover regolare i processi di carica e scarica della batteria, nonché dell'erogazione della potenza del suo motore elettrico. La figura 1.f offre uno



scorcio della loro distinta base. Le componenti principali dei BEV (battery electric vehicle) sono quindi: motore elettrico, On Board Charger (OBC), trasformatori e invertitori di tensione, nonché il Battery Management System (BMS) [Kulkarni et al. 2023].

**Figura 1.f.** Componenti principali di una automobile elettrica [Kulkarni et al. 2023].

## 1.4.2 Avvento degli ADAS

Anche le automobili termiche sono state negli anni oggetto di importanti aggiornamenti, che hanno portato a un impiego massiccio di elettronica persino sulle auto di più vecchia concezione. Tra gli allestimenti più recenti, vi è stato l'impiego di telecamere e sensori di prossimità al fine di ottimizzare la guida e le operazioni di parcheggio del conducente. Queste componenti, affiancate una centralina elettronica, costituiscono i cosiddetti ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Grazie a un monitoraggio attivo della strada o dello stato di attenzione del guidatore, essi mirano a limitare l'errore umano al volante [37]. Se inizialmente tali sistemi erano prerogativa soltanto dei modelli di auto più costose, la recente introduzione della nuova normativa Europea 2019/2144, ha riguardato l'adozione degli ADAS su più ampia scala. Di fatto, con la **General Safety Regulation 2** (GSR 2), a partire dal 7 luglio 2024 tutti i modelli di nuova omologazione dovranno essere dotati dei seguenti sistemi obbligatori [6]:

- Adaptive Cruise Control (ACC)
- Collision Avoidance (CA)
- Forward Collision Warning (FCW)
- Lane Departure Warning (LDW)
- Lane Keeping System (LKS)
- Automatic Emergency Braking (AEB)
- Traffic Sign Recognition (TSR)
- Intelligent Speed Adaptation (ISA)
- Alcolock (predisposizione)
- Registratore di dati evento (Scatola nera)
- Rilevamento ostacoli in retromarcia
- Blind Spot Assist (angolo cieco)

Sebbene tali sistemi da quest'anno in poi caratterizzeranno tutte le nuove vetture, le auto elettriche continueranno comunque a prevalere nell'uso massiccio dei semiconduttori. Le case automobilistiche hanno capito che l'impiego dei chip è diventato imprescindibile nel costruire un'auto. Esse, infatti, si stanno adoperando nell'istaurare nuove partnership e collaborazioni commerciali con aziende legate al settore di questi microcomponenti. Tra i principali OEM, il 18 Luglio 2023, Stellantis ha annunciato di aver intrapreso una collaborazione strategica con Infineon, NXP® Semiconductors, onsemi e Qualcomm [32].

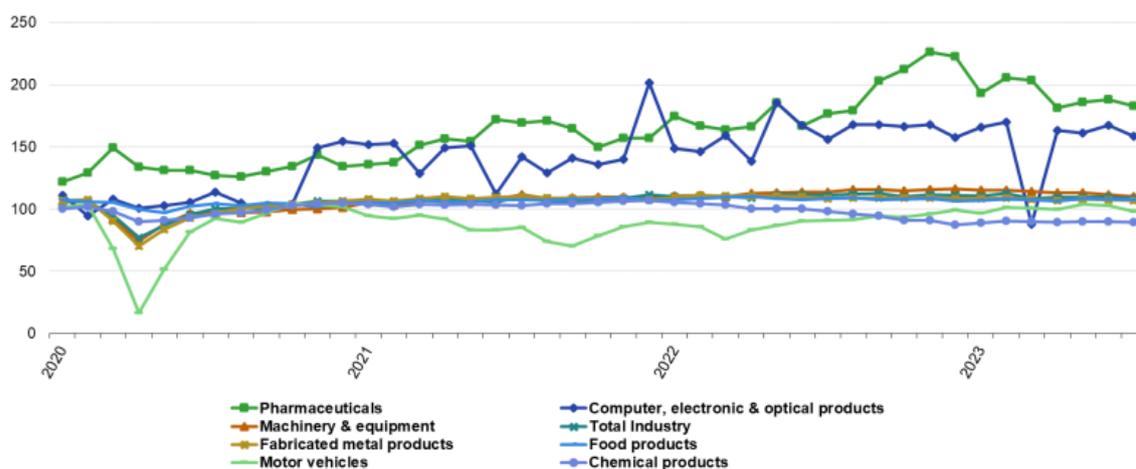
## 1.5 La Pandemia Covid-19 e conseguenze sul mercato dell'auto

### 1.5.1 Misure di Lockdown

Il 2020 è stato segnato dalla pandemia COVID-19 che ha portato i vari governi locali a istituire diverse contromisure di distanziamento, tra cui il lockdown. Nel caso italiano le limitazioni alla mobilità sono andate avanti dal 9 marzo 2020 al 18 maggio. Durante quel periodo negozi e uffici relativi ad attività non essenziali sono rimasti chiusi. Studenti e lavoratori si sono avvalsi dello smart working durante le loro giornate di studio o di lavoro. I flussi veicolari nelle città si sono notevolmente ridotti [7].

Gli effetti delle restrizioni hanno influito pesantemente sull'economia Europea, la cui produzione di veicoli a motore si è vista ridurre dell'84%, per poi riprendersi nei mesi seguenti; tuttavia, nel 2021 i livelli di produzione sono rimasti più bassi del 5% rispetto al periodo pre-pandemia [8]. La figura 1.g sottostante mostra questo andamento, facendo riferimento anche all'industria, l'edilizia e i servizi, includendo il volume degli scambi relativi alla vendita degli autoveicoli, del commercio all'ingrosso e del commercio al dettaglio [8].

EU, Index of industrial production, total and selected industries (2015 = 100)



Source: Eurostat (online data code: sts\_inpr\_m)

eurostat

Figura 1.g. Panoramica degli indici di produzione dell'UE [8].

I principali OEM, infatti, si sono trovati a dover sospendere la produzione e ad annullare gli ordini ai fornitori riguardanti la componentistica. A subire l'impatto di queste contromisure sono stati 1.138.536 operai della eurozona, per un totale di 2,6 milioni di lavoratori nel settore dell'auto del continente [34].

Una volta giunto il momento di ripartire, alcuni componenti chiave, non erano più reperibili in breve termine sul mercato. I produttori di semiconduttori, non dovendo approvvigionare a loro volta i Tier1, avevano rivolto nel mentre la loro offerta verso settori più redditizi. Come vedremo in seguito, i tempi di produzione dei chip sono parecchio lunghi per cui, la loro carenza, ha avuto effetti e ripercussioni protrattesi

per tutto l'anno a venire. I tempi di approvvigionamento, che nel miglior caso potevano essere di 4 mesi in tempi normali, si sono allungati di oltre un anno nel 2022 a seguito della Pandemia [9].

### 1.5.2 La Crisi dei Semiconduttori nell'Auto

SEMICONDUCTOR DEMAND DRIVERS (2020)

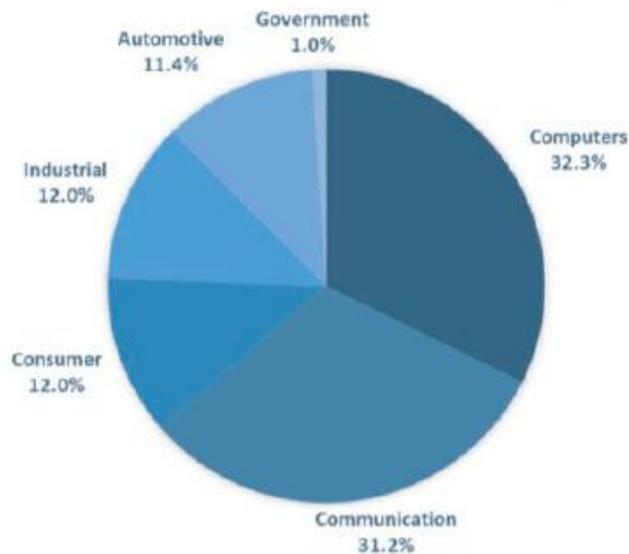


Figura 1.h Domanda di chip nei relativi settori [#2]

La narrazione vuole dunque focalizzarsi sul ruolo dei semiconduttori nel settore dell'auto. Come si è detto, i produttori di tali componenti, sono molto specializzati e non si rivolgono ai soli mezzi di trasporto, ma anche a quello dell'elettronica di consumo. I chip inoltre stanno giocando un ruolo predominante anche in settori in cui la loro presenza è storicamente recente, come ad esempio gli elettrodomestici. Dalla

Figura 1.h, si può evincere che nel 2020 soltanto il 12% circa della domanda, proveniva dal settore Automotive, mentre il settore del Computer e delle Telecomunicazioni assorbivano rispettivamente il 32 e il 31% [Mohammad et al. 2022].

Il mercato dei semiconduttori è in continua crescita, oltre il 20% nel 2021, raggiungendo 580 Bilioni (miliardi di dollari U.S.A.) di fatturato nel 2022. La Figura 1.i mostra l'andamento delle vendite nel tempo, tendenzialmente in crescita nell'ultimo ventennio.

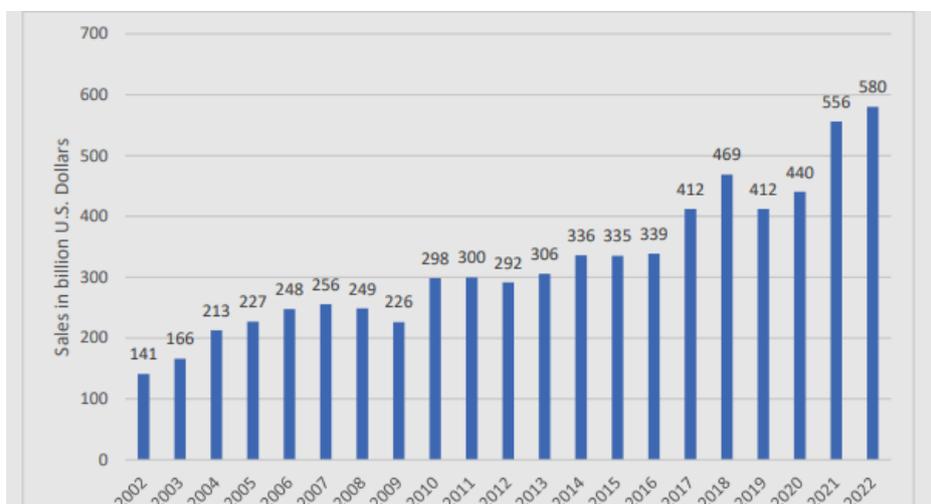


Figura 1.i. Valore delle vendite di semiconduttori tra il 2002 e il 2022 [10].

## 1.6 Cause della carenza e strategie di resilienza degli OEM

Conseguentemente al lockdown, seguito della carenza di chip, la produzione di veicoli nel 2020 è fortemente calata, perdendo in Europa il 23% della produzione rispetto all'anno precedente, all'incirca 4,243,577 mezzi [33]. Dalla Tabella A, sottostante, si può evincere nel dettaglio, l'impatto avuto sulla produzione dei diversi stati europei.

Country	Production lost	Country	Production lost
Austria	63,479	Netherlands	65,045
Belgium	22,105	Poland	192,232
Czech Republic	269,788	Portugal	73,834
Finland	29,157	Romania	52,784
France	881,287	Slovakia	129,007
Germany	1,192,112	Slovenia	58,239
Hungary	91,829	Spain	577,130
Italy	114,174	Sweden	44,333
United Kingdom	387,065		
		<b>TOTAL (EU+UK)</b>	<b>4,243,577</b>

**Tabella A.** Perdite di produzione relative ad automobili, veicoli commerciali, furgoni e autobus [33].

Come è già stato presentato nei paragrafi precedenti, nel momento in cui l'economia dell'auto stava cercando di ripartire, gli OEM non sono stati in grado di intercettare questo crescere della domanda, nata da chi desiderava tornare a muoversi in auto piuttosto che recarsi a lavoro con i mezzi pubblici. La carenza di semiconduttori ha ostacolato la ripresa economica poiché in molti casi erano indispensabili per poter mettere il veicolo su strada. Ad esempio, Porsche, nel febbraio 2021, aveva avvisato i concessionari USA che gli acquirenti avrebbero dovuto aspettare altre 12 settimane per poter ricevere le loro auto. Questo perché in casa madre erano sprovvisti dei chip utilizzati per monitorare la pressione degli pneumatici [35]. Altre aziende, come Renault, hanno fatto una selezione dei loro chip in rimanenza, riservandoli ai soli modelli più costosi e che generano maggiori profitti [35]. Obiettivo del seguito della narrazione, sarà dunque quello di evidenziare le cause che hanno portato alla rottura della catena di fornitura dei semiconduttori, presentando inoltre le strategie adottate dai vari OEM e suggerite dagli studiosi allo scopo di favorirne la resilienza in ottica futura. La Tabella B in basso fornisce uno specchio orientativo delle tematiche trattate.

CAUSE	PUNTI CHIAVE
<b>Complessità della SC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specializzazione Geografica</li> <li>• Barriere all'ingresso</li> </ul>
<b>Situazione Geopolitica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guerra dei dazi tra USA e Cina</li> <li>• Tensioni tra Giappone &amp; Corea del Sud</li> </ul>
<b>Shock Esterni</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Catastrofi Naturali</li> </ul>
<b>Processo Produttivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expertise e Capital intensive</li> </ul>

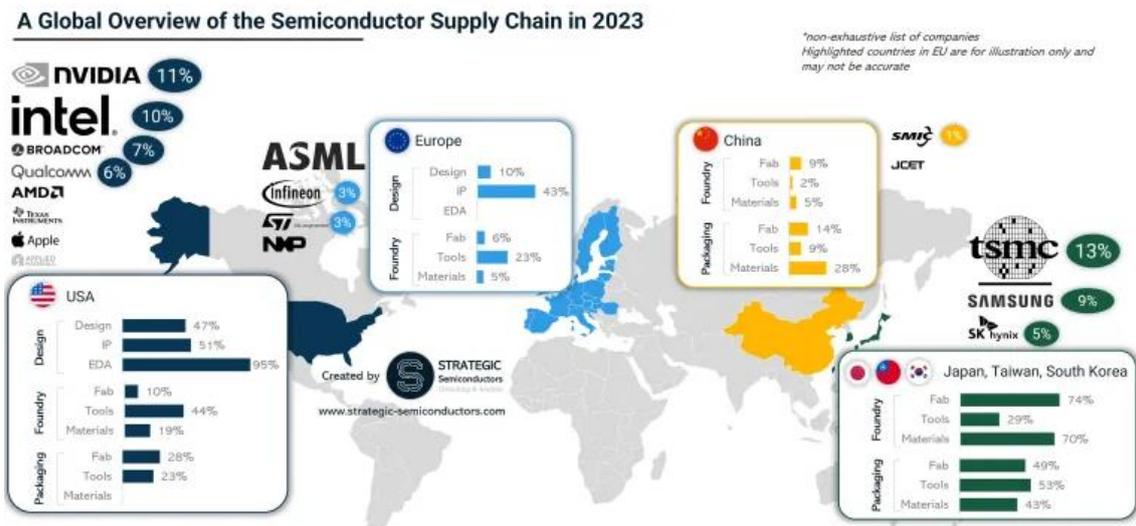
**Tabella B.** Cause della carenza di Chip

I motivi della crisi sono descritti nei seguenti paragrafi.

### 1.6.1 Complessità della Catena di Fornitura dei semiconduttori

#### *Specializzazione Geografica*

Sono almeno 25 i Paesi coinvolti in tutto il processo; l'Europa e gli Stati Uniti sono responsabili per quello che riguarda la progettazione, mentre la produzione è concentrata per il 75% nel continente Asiatico. I più grandi colossi di questo tipo di manifattura sono ad oggi TSMC (Taiwan) e Samsung (Korea) [Mohammad et al. 2022]. Nonostante ciò, produttori di semiconduttori che hanno posto il settore dell'auto come loro core business sono NXP (Olanda), Infineon (Germania), Resenas (Giappone) e Texas Instruments (USA) [Frieske & Stieler, 2022]. L'immagine seguente, 1.1, fornisce una collocazione geografica dei principali siti di produzione e progettazione.



**Figura 1.1.** Panoramica globale della Catena di Fornitura dei Semiconduttori [11].

Una delle ragioni per cui la Automotive Supply Chain è incorsa in questo collo di bottiglia è stata la **mancata visibilità** della domanda di semiconduttori, che stava nascosta nei suoi sottolivelli (Tier2, Tier4). Sia i Tier1 che gli OEM erano inconsapevoli della carenza di questi materiali, fino a che la problematica non si è verificata [12].

## *Barriere all'ingresso*

Se di per sé la progettazione dei semiconduttori non richiede grandi investimenti, i costi di produzione e di Ricerca e Sviluppo (R&S) richiedono invece ingenti esborsi di denaro da parte di aziende che vogliono interfacciarsi in questo tipo di mercato. Le prime 5 compagnie *fabless*, ovvero le realtà che esternalizzano la parte produttiva, hanno dovuto investire 68 miliardi di dollari in R&S nei 5 anni tra il 2015 e il 2019; che rappresenta all'incirca quasi 2,8 miliardi di dollari per azienda, oltre che il 22% dei loro ricavi. Per potere infatti ottenere un rendimento soddisfacente in questo settore, si ha bisogno di attuare economie di scala, il che rende non profittabile a nuovi competitors il volersi lanciare in questo mercato [13].

### 1.6.2 Problematiche Geopolitiche

#### *Guerra Commerciale USA vs Cina (Huawei)*

Il Governo cinese sta finanziando le sue industrie verso l'acquisizione di molte *fabless* Americane, con l'obiettivo di acquisirne il know-how. Il Governo americano ha deciso di ostacolare l'espansione tramite l'introduzione di dazi. L'inserimento, infatti, di Huawei e ZTE in una black list, tramite il National Defense Authorization Act 2018, e l'inserimento a seguito nella *Entity List* del 15 maggio 2019, ha fatto sì che Huawei non potesse più approvvigionarsi di hardware dai partner commerciali Americani; il che ha impedito aziende come TSMC di stampare i **chip** per aziende come Huawei. Allo stesso modo quest'ultima si trova impossibilitata ad acquistare da Qualcomm. Tali limitazioni hanno fatto sì che anche Huawei si spingesse nell'accumulo di semiconduttori per poter coprire i suoi fabbisogni futuri [Ramani et al. 2022]. A seguito del settembre 2022, da parte degli Stati Uniti arrivò un'apertura verso Huawei, con la volontà di alleggerire il divieto per "tecnologie di basso livello" e consentirle di partecipare alla creazione di standard tecnologici. Nel maggio 2024 però, gli USA hanno nuovamente imposto delle restrizioni, Figura 1.m, imponendo a **Intel e Qualcomm** di non fornire semiconduttori a Huawei [14][15].



**Figura 1.m** Caricatura del contrasto tra i due continenti nelle faccende economiche [15].

## Tensioni tra Giappone & Corea del Sud

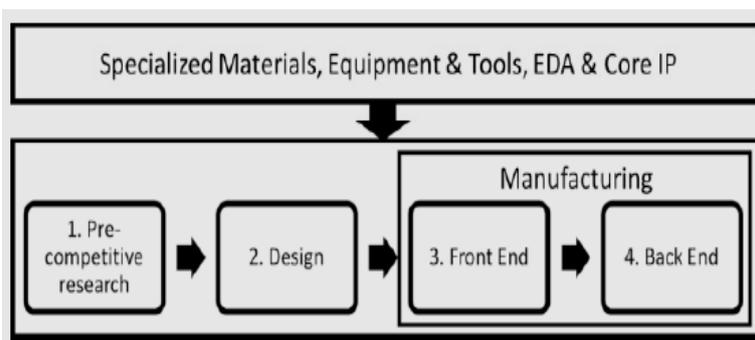
Tra il 2019 e il 2020 il Giappone ha ridotto le esportazioni di sostanze chimiche, utili alla produzione di chip nella Corea del Sud, tra quali l'acido fluoridrico, la poliamide fluorurata e il fotoresist [Mohammad et al. 2022].

### 1.6.3 Shock esterni ed eventi geologici

Ancora prima della pandemia, alcuni incidenti hanno penalizzato alcuni grandi produttori di semiconduttori ed il loro relativo indotto: incendi avvenuti in alcuni impianti dell'Asia assieme a una tempesta di neve nel territorio americano, hanno avuto impatto sulla produzione di chip, causandone rallentamenti. Addentrandoci nel dettaglio, nel 2020 due incendi hanno coinvolto alcune fabbriche di prodotti chimici rispettivamente in Giappone e Taiwan. Questo evento ha creato rallentamenti nella filiera dei semiconduttori, in quanto tali sostanze e macchinari di sintesi, venute distrutte, non erano più disponibili per la loro fabbricazione. Oltretutto in Texas, nel 2021 ha imperversato una tempesta di neve, la quale ha causato interruzioni nella fornitura di corrente in diverse fabbriche. Degna di nota è infine la catastrofe avvenuta nuovamente in territorio nipponico nello stesso anno. Un terremoto ha portato a seguito un enorme tsunami, causando per diversi mesi la paralisi di alcune fabbriche. [Frieske & Stieler, 2022].

Tra i fattori esterni che hanno infine caratterizzato i rallentamenti nella catena sono stati i contagi e le restrizioni alla mobilità dovute alle misure di lock down nel 2020 [Frieske & Stieler, 2022].

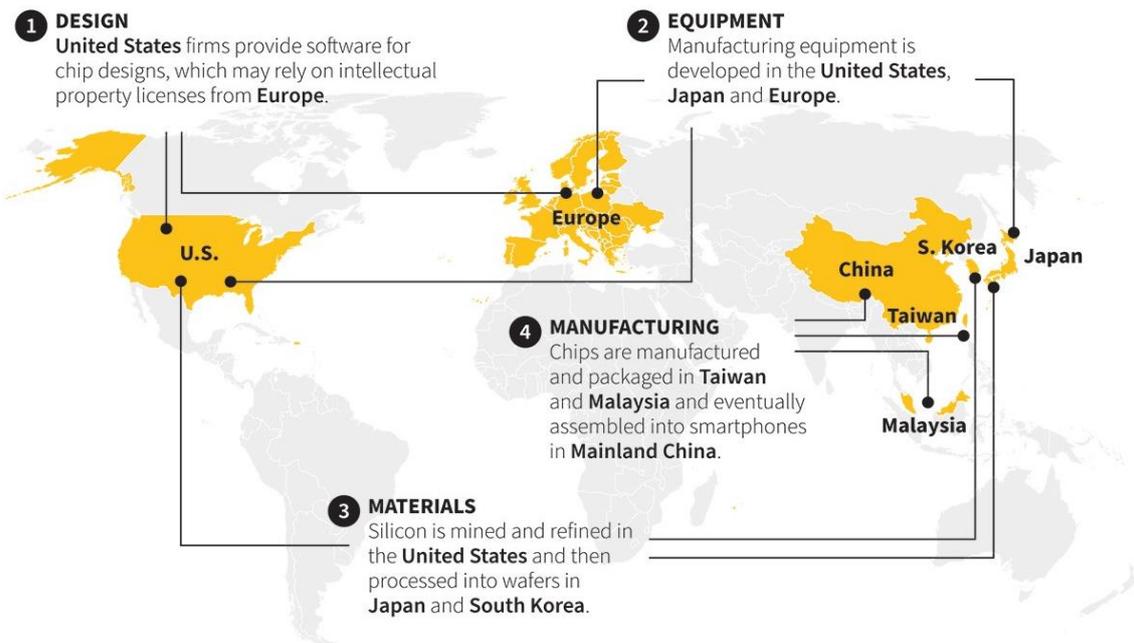
### 1.6.4 Complessità del Processo produttivo dei Chip



**Figura 1.n.** Fasi della fabbricazione dei chip [#2].

La fabbricazione dei semiconduttori, figura 1.n, è un processo altamente specializzato e richiede ingenti investimenti di capitale, sia per la costruzione di centri produttivi che per la formazione degli operai. Innanzitutto, il processo

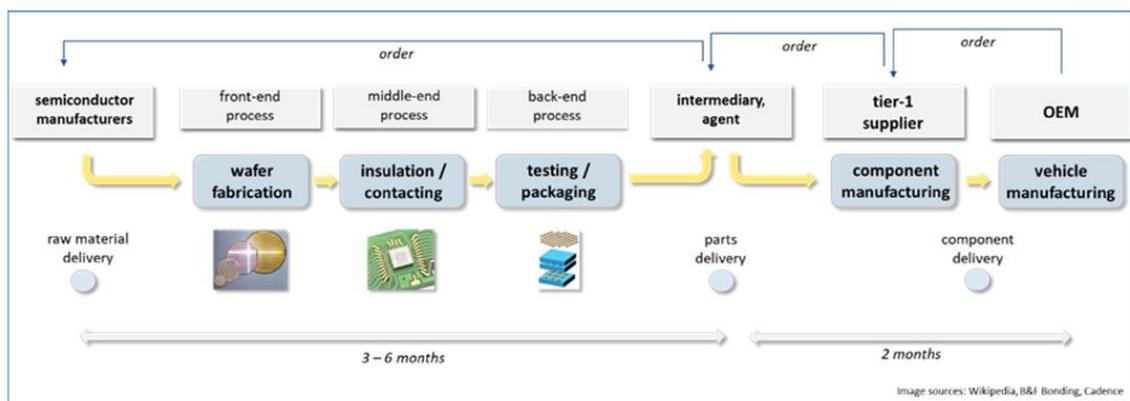
può essere distribuito in 4 fasi, ovvero la ricerca pre-competitiva, la progettazione, fabbricazione dei wafer e infine l'assemblaggio e testing [Mohammad et al. 2022]. Sono diversi, inoltre, i continenti che hanno scelto di specializzarsi nelle varie fasi, nell'immagine 1.o sottostante vengono mostrate le principali azioni svolte dagli USA, dall' Europa e dall'Asia.



**Figura 1.o** Geografia della Supply chain con la localizzazione delle varie fasi [16].

La trattazione proseguirà inoltrandosi nelle fasi di produzione (in breve) e di approvvigionamento.

Tra l'ordine e la consegna del componente al cliente finale possono trascorrere dai 5 agli 8 mesi; 6 mesi per la fase di produzione e altri 2 necessari per la fase di acquisto e installazione del semiconduttore sul componente ad opera del Tier1 [Frieske & Stieler, 2022]. La figura 1.p, mostra le fasi peculiari del processo.



**Figura 1.p** Fasi di produzione di un semiconduttore nel dettaglio e rispettivi Lead Time [Frieske & Stieler, 2022].

Il materiale base dei chip è il Silicio grezzo, il quale viene estratto ad altissime temperature nelle fonderie a partire da rocce granitiche. Una volta liberato dalle sue impurità si agisce sulla sua forma e viene omogeneizzata la sua struttura reticolare. Tramite il processo Czochralski si ottiene quindi un lingotto monocristallo cilindrico, materia base per l'elettronica e la realizzazione dei circuiti integrati [17]. Adesso che il materiale si presenta omogeneo nella sua struttura e composizione, esso viene segato in lamine sottilissime (pochi decimi di mm) dette wafers. Ciò che renderà il

prodotto finito un semiconduttore sarà la modifica localizzata delle sue caratteristiche elettriche. Tramite la fotolitografia, il wafer verrà ricoperto di un materiale fotoresistente e successivamente con il drogaggio, vengono depositate su di esso delle impurità. Come risultato si avrà ottenuto un materiale dai comportamenti differenti nelle sue sezioni, in grado di agire, sia come conduttore che come isolante. Dal susseguirsi di queste fasi, il risultato finale sarà la creazione del chip e dei transistor.

Sebbene questo processo continui a perfezionarsi nel corso degli anni, la difettosità è ben lontana dall'essere nulla, esperti ritengono possa essere del 35%, soprattutto per quello che riguarda i processi chimico fisici. Tutti i chip vengono infatti testati rigorosamente e scartati se le loro proprietà non sono in linea con i requisiti qualitativi, o comunque verranno delegati ad altro tipo di applicazioni a più basse performance [18].

## 1.7 Strategie di breve e lungo periodo

Tra le azioni intraprese per far fronte alla crisi, da parte delle varie case automobilistiche, vi è senza dubbio la scelta di impiegare le proprie riserve di magazzino, verso i prodotti a maggiore rendimento. Sebbene alcuni abbiano scelto di sospendere la produzione, attivando i meccanismi di sostegno statali, (Chiusura Stellantis a Melfi 3-10 maggio 2021 e 19 -28 marzo 2022), [19] [20] ci sono stati anche produttori meno propensi a tale soluzione. La General Motors ha scelto in alcuni casi di non fermare la linea produttiva, posticipando a seguito l'installazione delle componenti out of stock [34]. Un'altra strategia adottata è stata quella di ridurre gli optional offerti su alcuni modelli [Mohammad et al. 2022].

Tra le strategie adottate nel **breve periodo** si evidenziano:

- Orari di Lavoro ridotto, eliminazione del terzo turno [Fonte #1]
- Istituzione di task force per l'approvvigionamento di semiconduttori [#1]
- Ricerca di fornitori alternativi [#1]
- Limitare gli allestimenti offerti per i vari modelli [Fonte #3]
- Stop Produttivi [#3]
- Assemblaggio parziale dei veicoli [#3]
- Ricollocamento della capacità produttiva su modelli più remunerativi [#3]

Strategie di **lungo periodo**:

- Utilizzo della IA per accorciare le fasi di progettazione dei chip [Fonte #2]
- Condivisione informazioni sulle scorte [#2]
- Investimenti [#2] (USA 52 M \$)
- Incremento delle scorte di componenti Critici [#1]

- Impiego di fornitori locali con share fornitura 70-30 Asia-UE [#1]
- Monitoraggio crisi Politiche
- Gestione centralizzata [Fonte #6]
- Controllo qualitativo fornitori [#6]
- Standard comuni [Fonte #7] [Fonte #9]
- Cooperazione tra stati [#7]
- Road Map Tecnologiche [Fonte #10]

## 1.8 Nuovi indicatori di Performance e limiti del Just In Time

Dopo l'avvento della pandemia, i fornitori e OEM si sono interrogati sul come rendere più robuste le proprie catene di fornitura e su quali fossero i limiti della attuale politica di gestione delle scorte. Alcune risposte sono già state date, quali la decentralizzazione della capacità produttiva, il multi-sourcing e la digitalizzazione. L'impiego del Just in Time ha senza dubbio portato vantaggi e riduzione dei costi, ma allo stesso tempo ha esposto l'Automotive a interruzioni operative, specialmente in caso di shock della domanda come conseguenza di eventi esterni imprevedibili. Le lunghe catene di fornitura globali hanno quindi dimostrato la loro vulnerabilità intrinseca, sia per le lunghe distanze che per il numero di attori. La perpetrata ottimizzazione dei livelli di inventario era diventata una pratica sostenuta su tutti i piani, facendo sì che il livello delle scorte fosse via via inferiore anche addentrandosi nella catena; sottovalutando il fatto che anche la mancanza di un singolo componente può interrompere l'assemblaggio di un'auto.

Alcuni fornitori potrebbero quindi scegliere di applicare una politica **Just in Case**, ponendosi come obiettivo la riduzione dell'incertezza della domanda, agendo in controtendenza alla riduzione degli sprechi ma anzi aumentando l'ammontare delle scorte di sicurezza. Questa politica di gestione dell'inventario consisterebbe nel caso dei semiconduttori nello **stoccare componenti o prodotti finiti in anticipo**, volendo disporre di scorte sufficienti per ogni necessità. Le provvigioni, seppur "in eccesso" rispetto alla domanda del breve periodo, verranno conservate nei magazzini dell'azienda o dei fornitori diretti, evitando così future possibili rotture di stock che potrebbero ripercuotersi sulla linea produttiva [40]. Questa scelta porta inevitabilmente ad un aumento dei costi, in quanto si dovrà far fronte alla gestione di un maggior numero di giacenze e immobilizzazione di capitale.

Il metodo Just In Case permetterebbe di reagire velocemente in caso di volumi di domanda inaspettati, potendo appunto disporre di riserve adeguate a soddisfare ogni imprevisto. La produzione JIC è conosciuta anche come sistema "**push**". Essa sostiene che una produzione massiccia permetterebbe di ridurre i costi traendo forza dai volumi. Un settore che fa attualmente affidamento di questa politica è quello del farmaco, poiché lavora con beni facilmente stoccabili (i.e. scatole di

piccole dimensioni) .Oltretutto un ammanco della giacenza comporterebbe gravi conseguenze per i pazienti [40].

Sempre secondo questa prassi, un Tier1 (o Tier2) che vanta maggiore affidabilità, dovrebbe essere preferito nell'acquisto di componenti chiave, rispetto a un fornitore più economico ma imprevedibile in caso di urgenza. Fino ad oggi gli OEM hanno selezionato i loro collaboratori sulla logica del prezzo, della qualità e dei tempi di consegna. Si ritiene invece che nella situazione attuale essi debbano essere affiancati da nuovi metri di giudizio, come i seguenti indicatori di prestazione [Fonseca & Lopes, 2020] :

- Time To Survive (TTS), nel caso di interruzione della fornitura, indica l'autonomia residua delle scorte nei confronti della domanda, prima di andare in back order
- Time To Recover (TTR), indica il tempo necessario a ristabilire la piena operatività

Se il  $TTS > TTR$  l'interruzione della catena logistica non rappresenta un rischio.

Appare peraltro inverosimile che gli OEM scelgano di adottare la pratica di rivolgersi a fornitori più costosi. La maggior parte dei Tier1 probabilmente andranno avanti sperando che una crisi simile non possa più verificarsi [Fonseca & Lopes, 2020].

Emerge in controtendenza, la strategia adottata da un noto marchio di bevande. **Heineken** ha recentemente dato una svolta nella gestione della propria logistica. Generalmente l'azienda olandese ha sempre mantenuto le produzioni locali nei rispettivi Paesi, andando poi a distribuire i prodotti a livello globale. Con l'avvento della prima ondata pandemica, lo stato del Messico aveva ritenuto la birra un prodotto non essenziale, facendo chiudere di conseguenza le fabbriche durante il lockdown. Di conseguenza Heineken decise dunque, di spostare in Olanda la produzione del suo brand messicano Dos Equis [36].

## 1.9 Conclusione

In questo capitolo sono state affrontate le tematiche relative agli approvvigionamenti del settore nell'auto e al mercato dei semiconduttori. Nel prossimo capitolo verrà analizzato il contributo fornito dagli autori delle pubblicazioni scientifiche da cui ha preso forma il lavoro di tesi.

## CAPITOLO 2-REVISIONE DELLA LETTERATURA

Tramite questo capitolo verrà resa nota la modalità di indagine che ha accompagnato la stesura di questo lavoro. La base di partenza è stata l'analisi della bibliografia esistente sull'argomento dichiarato, ovvero capire le cause della carenza di semiconduttori negli ultimi anni. Le pubblicazioni scientifiche esistenti, disponibili al pubblico, sono ancora poche ma in aumento negli ultimi anni. Nel corso di questo capitolo verranno classificate le fonti, spiegando quale contributo esse hanno dato alla narrazione di questo progetto di tesi. Infine sarà implementata un'analisi critica delle suddette. Anche la sitografia ha ricoperto un ruolo importante nella stesura dell'opera.

### 2.1. Metodologia

Per la stesura di questo lavoro ci si è avvalsi della letteratura presente sul Database SCOPUS, oltre all'ausilio di numerose testate giornalistiche presenti sul web, tra le quali il Sole24ore e il New York Post. Le parole chiave utilizzate nei motori di ricerca sono state **“automotive”, “shortage”, “semiconductor”, “crisis” e “covid-19”**. Nello specifico sono stati analizzati e ritenuti utili all'indagine un totale di 10 articoli accademici, oltre a una quarantina di siti web. Una volta raccolti diversi articoli sul tema, sono state evidenziate le tematiche e classificati per categorie in base agli argomenti trattati. Sono state escluse dalla trattazione le pubblicazioni orientate a descrivere le caratteristiche e il funzionamento specifico di questo tipo di componenti, in quanto esse esulavano dall'obiettivo del lavoro di tesi. Tutto questo ha portato alla creazione di un Database Microsoft Excel dotato delle seguenti colonne, sintetizzate nella tabella 2a.

Titolo	Autore	Nazione Autori	Anno	Rivista	Conferenza
Obiettivo	Dati di Partenza	Metodologia	Risultati	Spunti Ricerca Futura	

**Tabella 2a.** Rappresentazione delle colonne che costituiscono il Database Excel.

Per ogni fonte sono quindi state analizzate le seguenti informazioni: il titolo dell'opera, gli Autori assieme alla loro nazionalità e all'anno di Pubblicazione. È stata poi indicata la rivista scientifica in cui gli studi sono stati pubblicati, generalmente periodici del settore industriale. Quando disponibile è stato riportato il riferimento alla conferenza o convegno in cui tale ricerca era stata presentata ed esposta. Altro fattore a cui è stata data importanza è l'**obiettivo** preposto dagli autori nelle loro opere, asserendo che il loro comune intento fosse quello di spiegare l'origine della crisi dei semiconduttori, dando anche modo di escludere articoli che miravano per lo più a descrivere il funzionamento tecnico della

componentistica. Altra voce su cui è stato costruito il Database è quella dei **Dati di partenza**. Essa descrive su quali basi fosse fondato l'articolo scientifico, generalmente su opere di altri autori noti nelle loro regioni, annunci aziendali e articoli di settore. Alcuni di loro si sono soffermati sulla catena di fornitura dei chip, fornendone una panoramica e sulla quale sono basate le proprie riflessioni. Un'altra voce del file Excel è la **metodologia**, che esprime il modus operandi degli studiosi, tra i quali spuntano la revisione bibliografica e l'analisi tematica. Penultima colonna è quella relativa ai **Risultati** che assieme agli **Spunti di Ricerca Futura** suggeriscono i limiti delle tesi supportate. Uno dei più grandi limiti delle fonti bibliografiche è rappresentato dal fatto che non sempre gli autori hanno supportato le loro indagini e conclusioni con dati quantitativi.

## 2.2 Classificazione degli articoli scientifici

Ciò che emerge dalla narrazione è come il tema della Pandemia e della crisi dei semiconduttori sia spesso intrecciato in diversi ambiti produttivi. Sono pochi gli articoli che davano una visione esclusiva sul settore automotive, bensì fornivano frequenti comparazioni tra il mercato dell'auto e quello dell'elettronica. Dunque, non è stato possibile fornire una suddivisione netta degli argomenti. La fonte #2 conferma questo aspetto, essendo essa riconducibile a più di un contesto. Si è deciso comunque di classificare gli articoli secondo i macrotemi trattati, per quanto alcuni possano essere riferiti a più di una categoria:

- **Crisi Dei Semiconduttori Nel Settore Auto**

Sono stati raccolti in questa sezione la maggior parte degli articoli. Essi presentano come oggetto principale le difficoltà delle SC Automotive nell'approvvigionamento dei chip durante e subito dopo la pandemia. Sono stati selezionati inoltre gli autori che più hanno dato un contributo alla comprensione di un argomento così vasto. Vengono fatti riferimenti agli attori e ai livelli della catena, in alcuni casi dando anche una descrizione del processo produttivo dei semiconduttori, al fine di far comprendere al lettore la sua complessità intrinseca.

- **Supply Chain Risk Management**

Sono qui raccolte quelle opere che hanno dato risalto ai limiti dello Just in Time in termini di resilienza e reazione agli shock della domanda. Per quanto l'applicazione della filosofia Lean sia stata ormai adottata da tutti gli attori della Supply Chain, essa presenta dei limiti nel momento in cui si verificano degli eventi imprevedibili. Si ritiene perciò utile raccogliere i suggerimenti degli autori nel favorirne un impiego meno rigido, rinunciando all'estrema riduzione dei costi a favore della creazione di una catena più robusta per quanto riguarda gli approvvigionamenti essenziali.

- **Crisi Dei Chip Nel Settore Auto E Pc**

In questa classe vengono catalogati la maggior parte degli articoli che esplicitano e analizzano le relazioni reazioni dei diversi mercati all’ammancio di chip. Computer e automobili, infatti, competono per il fabbisogno di semiconduttori. Tali opere sono considerate importanti in quanto citano le contromisure e strategie adottate da diversi produttori di Smartphone e Personal Computer nel far fronte alla crisi dei chip. Per ciascun articolo scientifico sarà quindi effettuata una breve sintesi, mentre nell’**analisi critica** sarà meglio presentata la loro suddivisione in classi.

### **Classificazione degli Articoli Scientifici**

La letteratura di questi anni riguardante la crisi dei semiconduttori ha spesso messo a confronto le difficoltà del settore dell’auto con la crescita dell’elettronica di consumo; dunque, non sempre si riesce a trovare articoli che considerino i due argomenti separatamente. La fonte #2, per esempio, viene inserita infatti in due diverse classi di macro-argomenti. Inoltre, con l’avvento dell’Internet of Things (IoT), sarà sempre meno ambiguo il fatto di equiparare le automobili all’industria del bianco (Elettrodomestici). Questi ultimi, infatti, sono sempre più spesso dotati di display e funzionalità che necessitano di semiconduttori per le loro funzioni di tutti i giorni.

In base alle tematiche trattate, sono stati quindi ripartiti gli articoli scientifici nelle seguenti classi.

Macro-argomento	Articoli	Descrizione
CRISI DEI SEMICONDUTTORI NEL SETTORE AUTO	#1#2 #3 #4 #5 #7 #9 #10	Cause della crisi, Geografia della Supply Chain, Processi produttivi dei chip e loro ruolo nella distinta base dei veicoli moderni. Strategie di resilienza
CRISI DEI CHIP NEL SETTORE AUTO E PC	#2 #6	Articoli che forniscono un parallelo tra la carenza di chip in ambito Automotive e quello di consumo
SUPPLY CHAIN RISK MANAGEMENT	#8	Trattazione accademica sui rischi a cui si espone la Supply Chain Globale e su come potrebbe mutare nell’era post covid

Per ogni classe seguirà adesso un sunto delle fonti catalogate.

## 2.3. CRISI DEI SEMICONDUTTORI NEL SETTORE DELL'AUTO

Il paragrafo si compone degli articoli scientifici reputati utili ad essere collocati nella prima classe.

### 2.3.1 The “Semiconductor Crisis” as a result of the COVID-19 Pandemic and Impacts on the Automotive Industry and Its Supply Chains [#1]

Il contributo che viene dato da questo articolo è quello di voler analizzare le ragioni dello shortage nel settore automotive e mostrare quali strategie stiano adottando le aziende tedesche al fine di sviluppare resilienza nella supply chain. Sono quindi state impiegate analisi di mercato (QUANTITATIVE) e interviste ad esperti del settore (QUALITATIVE). Durante l'attività di ricerca sono state effettuate 26 interviste di esperti, condotte nel periodo tra luglio 2020 e settembre 2021, le quali hanno coinvolto 3 OEM, 4 fornitori di sistemi (Tier1), 6 fornitori Tier2, 6 Tier3, 3 fornitori di servizi, 2 associazioni di categoria e 2 sindacati. Le basi scientifiche su cui è stata fondata l'indagine sono l'avvenuto calo della produzione di automobili in controtendenza all'aumento della domanda per generi di consumo elettronico, quali smartphone, videogiochi e computer. Nel primo e secondo trimestre del 2020 la produzione tedesca è infatti diminuita del 10% (7,7 M di Veicoli). Alla fine dell'anno la produzione è però tornata a crescere col verificarsi di colli di bottiglia, dovuti alla mancanza di componenti. Nel caso cinese invece le vendite di autovetture sono state 500 veicoli superiori alle previsioni per quell'autunno. A valle delle attività di ricerca sono state individuate le seguenti ragioni della carenza di semiconduttori:

- 1) **Gravi incidenti nelle fabbriche** di semiconduttori (Incendio fabbrica giapponese nel 2020 e tempesta di neve in Texas nel 2021).
- 2) **La complessa struttura** dei semiconduttori e della loro Supply Chain (timing, posizionamento, complessità della produzione).
- 3) **Covid-19: lockdown e stop della produzione**, Audi e BMW hanno adottato orari di lavoro ridotto nelle loro fabbriche

Tra le possibili soluzioni che vengono proposte dai ricercatori vi sono il ricollocamento della forza lavoro e il dare priorità all'assemblaggio dei modelli premium, fanno da esempio Daimler e Ford. Inoltre, sarebbe buona pratica la creazione di task force relative all'approvvigionamento dei semiconduttori,

intraprendere ricerca di fornitori alternativi, ritornando alla filiera corta nel lungo termine. Inoltre, un adeguamento dei livelli di inventario per i componenti critici con maggiori scorte di sicurezza fornirebbe la resilienza della catena. Viene espresso come, però, le industrie europee e tedesche abbiano poca influenza sulla stabilità della SC dei semiconduttori, a causa della loro ridotta quota di mercato. Limite del lavoro è il fatto che lo studio ha coinvolto soltanto attori tedeschi della filiera. Di fatto l'opera risulta troppo focalizzata sul solo stato europeo. Andrebbe a fornire un grande valore aggiunto poter svolgere le stesse ricerche al di fuori della Germania, come ad esempio in Francia, Usa, Giappone, Sud Corea e Cina. Si ritiene possa essere utile anche un confronto con i dati di mercato nel post pandemia, al fine di valutare anche l'impatto delle strategie suggerite nel tempo. La tabella 2b chiude il paragrafo indicando i riferimenti del suddetto articolo scientifico.

AUTORI	Benjamin Frieske, Sylvia Stieler
DATA	16 October 2022
NAZIONE	Germany
RIVISTA	World Electric Vehicle Journal 2022, 13(10), 189

**Tabella 2b.** Dati della pubblicazione [#1]

### 2.3.2 The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies [#2]

La tabella 2.c riassume i riferimenti bibliografici.

AUTORI	Wassen Mohammad, Adel Elomri, Laoucine Kerbache
DATA	26 Ottobre 2022
NAZIONE	Qatar
RIVISTA	IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 10, 2022, Pagine 476-483

**Tabella 2.c.** Dati della pubblicazione [#2]

La ragione che muove gli autori nel voler intraprendere questo studio è quello di esaminare le cause della carenza di semiconduttori nel settore dell'auto oltre al suo impatto sulle principali industrie (automotive, comunicazioni ed elettronica di consumo). Altro motivo per cui viene svolto lo studio è quello di fornire raccomandazioni e suggerimenti. La metodologia con cui è stata svolta l'attività di ricerca è quella dell'analisi bibliografica relativa alle pubblicazioni e articoli di settore. Partendo quindi da una panoramica sulla catena di fornitura dei

Semiconduttori e la loro distribuzione, viene anche presentata la distribuzione della loro domanda per quanto riguarda i settori dell'auto e dell'elettronica (computer, telecomunicazioni, di intrattenimento). Si evince che la domanda è trainata per l'11,4% dal settore automotive, 32% dai Computer e il 31% dalle Comunicazioni. Altro dato importante che viene presentato è quello relativo al mercato dei chip, che nel 2021 valeva 553 Miliardi di dollari ed è cresciuto del 25,6% rispetto all'anno precedente in cui vi era stata contrazione. I ricercatori spiegano che la catena di valore dei chip vede coinvolti attori in diversi 25 Paesi. Essi si occupano di seguire una o più delle 4 fasi di cui si compone l'approvvigionamento dei semiconduttori, che sono: Ricerca Pre-Competitiva, Progettazione, Produzione del Wafer e Assemblaggio (assieme a confezionamento e collaudo), per le quali servono 1400 passaggi, 26 settimane di lavoro e l'impiego di macchinari costosi dell'ordine dei 100M\$. Se i produttori volessero espandere la loro capacità sarebbe necessario un periodo minimo di 9 mesi.

Durante l'emergenza pandemica, in cui governi ed aziende hanno promosso il lavoro da casa, vi è stato un conseguente calo nella domanda di autoveicoli, in contrasto a un picco della richiesta di dispositivi elettronici, il quale ha portato a lead time di consegna di 120 giorni per alcuni modelli di PC. L'attività di ricerca racchiude diversi dati economici, raccolti su diverse imprese nei vari settori. Per quello che riguarda i Personal Computer, il Brand HP ha registrato un calo del 30% delle spedizioni nel 2020. D'altra parte, Intel ha segnato un calo del 5% dei suoi ricavi sui notebook, a fronte di un maggiore guadagno, 20% nel segmento dei PC Desktop. Riguardo invece al settore della comunicazione e dell'intrattenimento vi è stata una consistente contrazione delle vendite, soprattutto per quello che riguarda gli smartphone. In generale, il calo è stato del 12,5 %, per cui aziende come Samsung si sono trovate a cancellare intere linee di prodotti, come il Galaxy Note. Stessa sorte è spettata per la nuova fotocamera di Sony, che ha sospeso la sua uscita in commercio. L'azienda Canon ha subito invece 6 mesi di ritardo nelle consegne. Alla fine dell'anno Xiaomi aveva perso il 30% del suo valore (fatturato), mentre Huawei era scesa al secondo posto nella gara contro Apple. Infine, per quello che riguarda il settore dell'intrattenimento, vi è stato un risultato positivo, in quanto la vendita di televisori è stata maggiore nel 2021 del 30%. Per concludere l'elenco di aziende in difficoltà, gli autori hanno individuato un enorme back-order di quasi 9 Milioni nel settore delle apparecchiature mediche, specialmente in caso di ventilatori polmonari.

Passando all'auto, il gruppo Toyota e Volkswagen hanno visto ridursi del 20% le vendite nel 2021. Degli altri competitor sappiamo solo che Ford ha dovuto chiudere temporaneamente i suoi stabilimenti, sempre a causa della carenza di semiconduttori. La General Motors invece, ha optato per un assemblaggio parziale dei suoi veicoli, in attesa dell'arrivo dei restanti componenti. Tesla, Bmw e Porsche

hanno fatto fronte alla carenza di chip attraverso riduzione degli optional offerti ai clienti. La fluttuazione della domanda ha quindi portato i produttori a concentrarsi verso settori più redditizi, quale l'elettronica di consumo. Durante la pandemia sono state di ostacolo al fabbisogno dei chip la complessità stessa della Supply Chain, assieme alle avvenute escalation politiche in America e China.

Tra le possibili **contromisure**, suggerite dagli autori del testo vi è senza dubbio l'Aumento delle scorte per componenti critici, oltre quello di diversificare la fornitura. La digitalizzazione potrebbe in futuro giocare un ruolo importante, facendo accrescere la visibilità del processo di approvvigionamento. Anche l'utilizzo della IA per la fase di progettazione potrebbe accorciare i tempi di un processo abbastanza lungo. Vengono segnalate inoltre le politiche intraprese dai vari Governi nel supportare l'industria in questo grave momento. Tutti i player mondiali sembrano condividere la necessità di favorire la Rilocalizzazione geografica della produzione nei pressi in cui è localizzata la domanda. In tal senso gli Usa hanno già stanziato 52 Miliardi di Investimenti per l'industria dei Semiconduttori. Anche L'Europa si è adoperata nel promuovere l'European Chips Act. La Corea del Sud a sua volta sta promuovendo un investimento 452 Miliardi di dollari nel suo territorio. Altri 100 Miliardi sono previsti da Taiwan per l'espansione delle sue fabbriche in USA. Il Giappone ha dichiarato che intende espandere le sue quote di produzione, mentre l'India ha lanciato il "Semiconductor Startup Incubation and Acceleration Program".

Tra gli spunti futuri, gli autori suggeriscono di agire per quantificare i risultati delle contromisure adottate negli anni a venire. Nel complesso la loro opera appare ben strutturata e dettagliata di esempi, soprattutto per quello che riguarda i vari mercati. Andrebbe però potenziata la parte relativa alle strategie da attuare nel lungo termine.

### 2.3.3 Understanding systemic disruption from the Covid-19-induced semiconductor shortage for the auto industry [#3]

I ricercatori indiani mirano a identificare le ragioni dello shortage nel settore automotive e sviluppare possibili contromisure. La metodologia adottata durante lo studio è stata quella della revisione bibliografica di articoli di giornale, 209 articoli, con conseguente analisi tematica sui seguenti argomenti: picchi di domanda, carenze di beni e manodopera, ritardi ed errori di consegna, interruzioni e back-order. L'indagine è partita dai dati di mercato relativi al calo della produzione.

Ciò a cui ha portato l'indagine è che le cause della crisi dei semiconduttori, sono reputabili al manifestarsi di fattori sia interni che esterni. Gli autori considerano come shock interno la reazione avvenuta nelle scelte consumatori, i quali hanno mosso la domanda verso l'elettronica di intrattenimento e consumo. Tra i fattori esterni invece, fanno parte le restrizioni imposte dai governi (lockdown), oltre che gli incidenti avvenuti in fabbrica nel 2020, tra i quali l'incendio in Texas. Altri fattori che hanno caratterizzato il fenomeno sono stati i ritardi nelle spedizioni. Le contromisure adottate dai produttori di automobili nel breve termine sono state quelle di Ford, il quale ha tagliato alcuni sui modelli, mentre Volkswagen ha sospeso i turni di notte in fabbrica. Altri competitor sono ricorsi all'assemblaggio parziale delle loro autovetture (posticipando l'installazione di alcune componenti elettroniche in fase successiva). Anche dare la priorità di produzione alle automobili a maggiore margine di profitto è stato uno dei meccanismi prevalentemente adottati dagli OEM.

Per far fronte al lungo periodo, i Governi USA hanno stanziato 50 Miliardi per investimenti per portare Samsung e TSMC in territorio americano. Bmw ha invece instaurato una partnership con Inova, al pari di Stellantis con Foxcon.

Al fondo del paragrafo, tabella 2.c, sono forniti i dati della pubblicazione.

AUTORI	Vinay Ramani, Debabrata Ghosh, ManMohan S. Sodhi
DATA	Dicembre 2022
NAZIONE	India
RIVISTA	Omega, Volume 113, dicembre 2022, 102720

**Tabella 2.d.** Dati della pubblicazione [#3]

### 2.3.4 Analysing the Impact of Covid-19 on Automobile Sales in India Using ARIMA Modelling [#4]

La ricerca mossa dagli autori ha avuto il compito di stimare quali sarebbero state le vendite in India nel periodo tra il 2020 e l'anno 2021, assumendo che non vi fosse stata la crisi Pandemia Covid-19. Durante lo studio gli autori, avvalendosi dell'analisi dei dati di mercato (serie storica delle vendite di automobili in India fino al 2019) ed assieme al metodo Box-Jenkins, sono riusciti a stimare la quantità di veicoli che i consumatori avrebbero dovuto acquistare dalle concessionarie. Confrontando i dati previsti con quelli reali, si osserva nella figura 2.1, che le vendite sono calate drasticamente nel periodo 2020-2021 in concomitanza all'emergenza sanitaria. A marzo le vendite sono diminuite del 52%, mentre ad aprile 2020 sono state pari a zero. Tra le cause che hanno riguardato questo fenomeno vi sono state le restrizioni imposte dai governi alla mobilità, nonché la perdita del potere d'acquisto dei cittadini che hanno perso il lavoro.



**Figura 2.1.** Il grafico mostra in azzurro l'andamento delle vendite di automobili, mentre in arancione è tracciata la stima dei volumi di vendita secondo i ricercatori [#4]

Tale studio, ad opera di Srivastava Suyash, Sood Vasu, Yuvraj N. è stato pubblicato in novembre 2022, in India, sulla rivista *Advances in Transdisciplinary Engineering* Open Access Volume 27, Pages 45–50. Gli autori hanno preso parte anche alla “7th International Conference on Advanced Production and Industrial Engineering, ICAPIE 2022 Delhi”. Come riportato nella Tabella 2.e.

AUTORI	Srivastava Suyash, Sood Vasu, Yuvraj N.
DATA	Novembre 2022
NAZIONE	India
RIVISTA	Advances in Transdisciplinary Engineering Open Access Volume 27, Pagine 45–50
CONFERENZA	7th International Conference on Advanced Production and Industrial Engineering, ICAPIE 2022 Delhi

**Tabella 2.e.** Dati della pubblicazione [#4].

### 2.3.5 Covid-19 and transformational megatrends in the european automotive industry: Evidence from business decisions with a central and eastern european focus [#5]

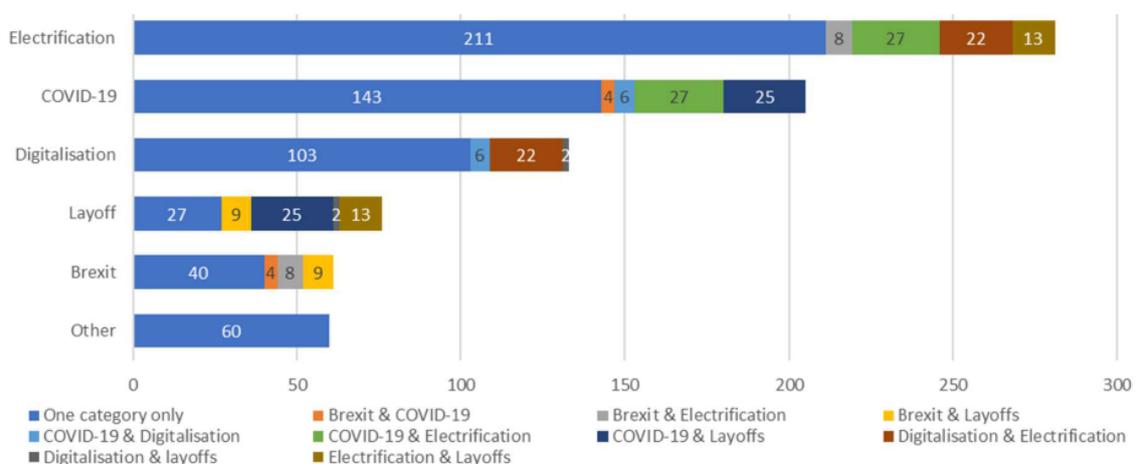
Lo studio avvalorava questo Progetto di tesi, fornendo utili linee guida sull'andamento in Europa del settore dell'auto. Nella tabella 2.g, sono raccolti i riferimenti alla fonte ed ai suoi autori.

AUTORI	Pelle Anita; Tabajdi Gabriella
DATA	Dicembre 2021
NAZIONE	Ungheria
RIVISTA	Entrepreneurial Business & Economics Review Open Access Volume 9, Issue 4, Pag.s 19–33

**Tabella 2.g.** Dati della pubblicazione [#5].

Gli autori dell'opera intendono analizzare le tendenze a cui sarà soggetto il settore Automotive nei prossimi anni. Oltretutto il lavoro è orientato ad evidenziare quali effetti ha avuto la pandemia di Covid-19 sulle decisioni aziendali, ponendo come base gli annunci commerciali e le conferenze stampa delle aziende del settore. Il 60% di questi campioni di indagine ha riguardato aziende automobilistiche OEM mentre il restante 25% proviene dai loro fornitori. I ricercatori si sono adoperati nella revisione della letteratura esistente, allo scopo di creare un database. Su di esso è stata poi svolta un'analisi statistica descrittiva e qualitativa dei dati. Lo studio si fonda su un campione di 700 elementi raccolti in un intervallo di 4 anni (marzo 2017 – febbraio 2021). Sulla base dei dati raccolti dagli studiosi è emerso che i temi predominanti riguardano la digitalizzazione, l'elettrificazione e le contromisure

rivolte alla crisi Pandemica, figura 2b. Queste due ultime voci erano spesso accomunate in articoli relativi alla carenza di semiconduttori.



**Figura 2 b.** Annunci aziendali, raggruppati per argomento [#5].

Tra le decisioni e le scelte strategiche, optate dalle aziende per far fronte alla crisi, si è fatto ricorso a chiusure temporanee degli stabilimenti di produzione e la diminuzione della forza lavoro ad opera di licenziamenti. Rimane importante da sottolineare la tendenza delle case Automobilistiche alla ricollocazione della produzione verso Paesi della CEE (Polonia, Ungheria, ecc.), i quali offrono lavoratori specializzati ma ad un costo inferiore che nel resto d'Europa. Inoltre, la loro vicinanza ai principali mercati andrebbe a favorire la resilienza, in contrasto alla rottura delle forniture nel continente Asiatico che hanno caratterizzato il periodo Pandemico. Per il futuro sarebbe proficuo il coinvolgimento in questo studio delle decisioni politiche e governative nei riguardi dell'industria automobilistica europea.

### 2.3.6 An Analysis on the Crisis of "Chips shortage" in Automobile Industry —Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction [#7]

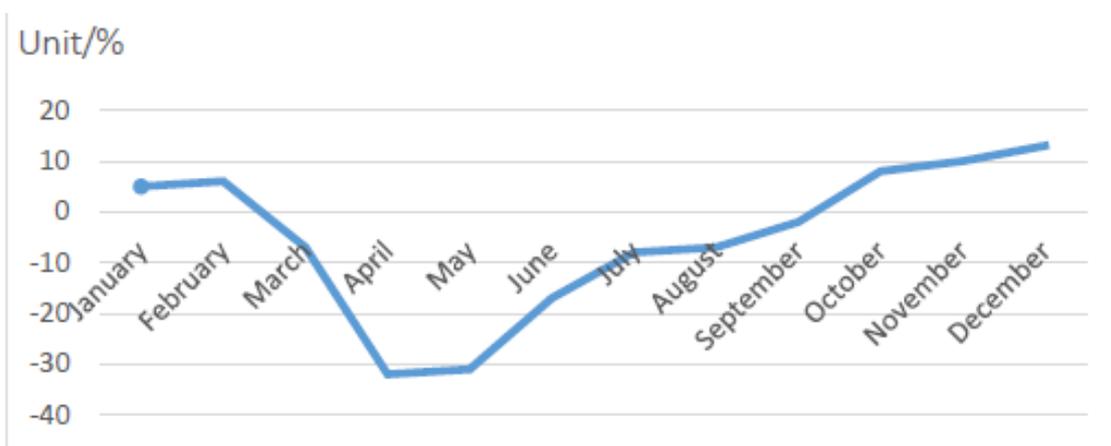
Informazioni sugli autori e sul congresso in cui è stata presentata la ricerca vengono descritti nella tabella 2.i.

AUTORI	Xiling Wu, Caihua Zhang, Wei Du
DATA	28 Luglio 2021
NAZIONE	CINA
CONFERENZA	2021 3rd International Conference on Electronic Engineering and Informatics, EEI 2021

**Tabella 2.i .** Dati della pubblicazione [#7].

In quest'opera, i ricercatori cinesi tentano di individuare le cause della carenza di Chip al fine di proporre delle contromisure. I dati su cui si basa l'indagine sono stati raccolti da canali ufficiali, quali la China Auto Association e la Semiconductor Industry Association (SIA), sui quali sono state svolte delle analisi di mercato. Dallo studio emerge che l'automotive assorbe una quota relativamente bassa rispetto alla totale capacità di produzione dei chip, il 12%. Il 75% del mercato dei semiconduttori invece, è rappresentato dall'elettronica di consumo.

Con l'avvento delle restrizioni come il lockdown, è venuta meno la domanda di chip per l'industria automobilistica, figura 2c, la quale è stata dirottata verso i settori dei Computer e delle Telecomunicazioni. Tra le misure preventive alla pandemia vi è stata la chiusura temporanea delle fabbriche, la quale ha portato a notevoli ritardi nelle consegne. A causa delle alte barriere di ingresso, sempre meno produttori globali si impegnano nella loro produzione di semiconduttori, ma bensì nella loro progettazione, per poi delegare a terzi l'implementazione industriale. Una volta tornata a crescere la domanda di semiconduttori per il settore dell'auto, sono sopraggiunti dei colli di bottiglia per i quali gli OEM non hanno potuto ricevere rifornimenti per quasi un anno.



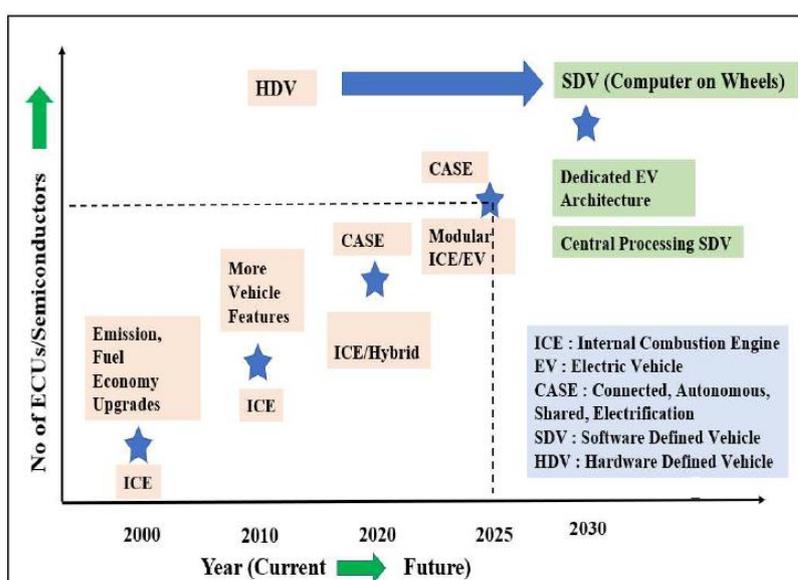
**Figura 2c.** Il grafico mostra l'andamento mensile delle vendite di Chip per automobili nel 2020, fonte (SIA) [#7].

Tra le strategie attuabili per far fronte al fenomeno della carenza dei chip, gli studiosi propongono una maggiore cooperazione tra le Comunità Internazionali, favorendo una maggiore sinergia tra le parti a monte e a valle della filiera. La produzione di semiconduttori cinesi destinata al settore automotive occupa soltanto il 5% del totale mondiale, per cui la Cina dovrebbe adesso cogliere l'opportunità di rafforzare il suo impegno anche verso la progettazione interna, andando ad acquisire nuove quote di mercato e aumentando il tasso di autosufficienza di chip per l'industria automobilistica. Lo sviluppo di semiconduttori dovrebbe inoltre essere accomunato da degli standard, in modo da non penalizzare gli investimenti in

Ricerca e Sviluppo. Le aziende dovrebbero perciò suggerire al governo di attuare politiche a sostegno di questa tecnologia.

### 2.3.7. A Systematic Approach to Mitigate Semiconductor Chip Shortage: Insights and Solutions for the Future Automotive Industry [#9]

Gli autori vogliono spiegare l'importanza di creare una Supply Chain Flessibile e resiliente in relazione ai semiconduttori. Nella loro opera, essi utilizzano la revisione bibliografica affiancata all'approccio sistematico e alle analisi di mercato. La narrazione comincia analizzando il ruolo dei Semiconduttori nella Distinta base degli EV (Veicoli Elettrici) e ICE (Veicoli a combustione interna). I primi possono arrivare a contenere fino a 3500 chip mentre la auto termiche una media di 1400. In questo periodo storico sarebbe in corso, secondo gli autori, una migrazione verso un nuovo concetto di veicolo. A partire da "Hardware Defined Veichle" (HDV) le piattaforme di progettazione dell'auto si stanno muovendo verso "Software Defined Veichle"; la figura 2d descrive questa situazione. Secondo questo concetto, i veicoli di precedente generazione venivano costruiti impiegando soli componenti fisici, quali sistemi meccanici, elettrici e idraulici, tramite i quali si poteva gestire i vari sistemi come il motore, i freni e lo sterzo. Con il tempo i veicoli si sono sempre più evoluti, andando ad ospitare nella loro architettura un maggior numero di unità di controllo elettronico (ECU). Le automobili più recenti affidano il funzionamento delle loro componenti su algoritmi software e sensori. Ciò favorisce inoltre la modularità e facile implementazione di aggiornamenti e migliorie tecnologiche anche dopo la messa del veicolo su strada.



**Figura 2.d.** Andamento del numero di ECU presenti in auto, che negli anni sta evolvendo dal concetto di HDV verso SDV [#9].

Tra le ragioni dello shortage dei semiconduttori, viene quindi posta evidenza sull’impatto avuto delle tecnologie di guida assistita (ADAS), nonché dall’enorme richiesta di elettronica per i sistemi infotainment. Pesano inoltre i sistemi di controllo relativi alla carica delle batterie. Le case automobilistiche si trovano dunque a competere con altri settori, Elettronica e Telecomunicazioni, per l’approvvigionamento di tali moduli e/o componenti. Le contromisure suggerite dai ricercatori riguardano innanzitutto gli OEM, i quali necessitano di sviluppare una catena di fornitura più trasparente, soprattutto per quello che riguarda i suoi livelli più bassi, attualmente privi di visibilità. Poiché sono proprio i fornitori di semiconduttori ad occupare “il fondo” della catena, occorre che essi vengano innanzitutto codificati in un database, così da categorizzarli in relazione alle loro funzioni e alle loro criticità nella distinta base del veicolo. Anche l’attuarsi di politiche di “feature bundling” eliminerebbe l’impiego di chip troppo specifici ad alcune funzioni e risolvendo una volta per tutte il loro fabbisogno. Coinvolgere inoltre un maggior numero di fornitori di semiconduttori ridurrà la dipendenza da un’unica fonte, la quale, assieme a un maggior numero di scorte di sicurezza, andranno a limitare le interruzioni degli approvvigionamenti. In aggiunta, l’instaurarsi di una collaborazione tra le varie case automobilistiche potrebbe portare ad enormi vantaggi, al fine di raggiungere una nomenclatura concordata che potrebbe portare i produttori di chip a uno sviluppo di soluzioni personalizzate alle esigenze specifiche degli OEM. Questi ultimi potrebbero anche optare per costituire un consorzio comune con le fabbriche e le attività estrattive, supportandone le attività di ricerca e sviluppo. In parallelo i Governi si stanno muovendo per adottare politiche di sostegno all’industria dei chip. Grazie al Chips Act di luglio 2022, gli USA hanno stanziato 52 Miliardi di dollari in questo settore, in modo da aumentare la capacità produttiva nel loro continente. Anche l’Europa, il Giappone e l’India, stanno pianificando azioni dello stesso genere. Gli autori suggeriscono che lo studio potrebbe essere esteso ad altre parti tecnologiche del veicolo elettrico e non solo ai semiconduttori. Tutti i riferimenti agli autori vengono riportati nella tabella 2.m.

AUTORI	Mandar Kulkarni,Pooja Gopal Naidu Chandrasekar,Prithiviraj Thangavel,Vijaya Vijayalakshmi
DATA	2023
NAZIONE	India
CONFERENZA	2023 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC-India)

**Tabella 2.m.** Dati della pubblicazione [#9]

### 2.3.8. Understanding the EV Semiconductor Chip Sustainable Supply Chain Chip Shortage [#10]

L'ultimo contributo per questa classe di articoli proviene dal continente americano; gli autori sono indicate nella tabella 2n.

AUTORI	Jeshurun Biney, Erick C. Jones Jr, E.C. Jones
DATA	2023
NAZIONE	USA
RIVISTA	International Supply Chain Technology Journal, vol. 10, no. 2, 2024

**Tabella 2.n.** Dati della pubblicazione [#10]

Lo scopo che si prefiggono i ricercatori è quello di individuare le implicazioni che hanno portato alla carenza dei Semiconduttori negli ultimi anni. Nel portare avanti l'indagine si sono avvalsi della revisione bibliografica con conseguente creazione di un framework analitico. L'importanza del ruolo occupato dai semiconduttori nelle componenti automotive ha guidato gli studiosi nel loro lavoro. Con l'avvento dei veicoli ibridi, ed elettrici, infatti, è stata necessaria l'implementazione delle ECU, le quali sono divenute via via più complesse, dovendo oggi esse gestire un numero maggiore di componenti elettroniche anche ad alto voltaggio. Negli anni '50, i veicoli erano solamente espressione dell'industria meccanica, idraulica e termodinamica. In seguito, l'impiego dell'elettronica ha preso parte nella gestione delle funzioni di accensione e iniezione nei primi veicoli degli anni '60, fino a favorire l'avvento delle prime centraline negli anni '70. Ad oggi, i chip all'interno delle auto si sono ulteriormente evoluti, giungendo alla fabbricazione e perfezionamento dei cosiddetti MOSFET SiC, semiconduttori con architettura basata sul carburo di silicio. I quali presentano una conduttività termica più elevata rispetto alle loro controparti in silicio, trovando impiego adatto nell'elettronica di potenza. Dato questo enorme balzo tecnologico, l'industria automobilistica, a detta degli autori, si sta orientando verso veicoli "Software Defined", argomento già trattato nel paragrafo precedente [#9]. In sintesi, le auto stanno diventando dei sistemi sempre più modulabili, in cui il software sta divenendo parte predominante nel suo sviluppo.

La carenza di chip che ha caratterizzato questi anni è principalmente dovuta all'avvenuto aumento della richiesta di semiconduttori, in concomitanza alla crisi pandemica. L'impennarsi della domanda ha fatto sì che si generassero grossi ritardi nella fornitura, fino a 10 o 12 mesi. Le motivazioni che hanno portato al blocco delle consegne sono intrinseche alla complessità della Supply Chain stessa. La sua enorme lunghezza e la presenza di numerosi sottolivelli sono stati fonte della sua criticità. Lo svantaggio che ne consegue, specialmente nel settore dell'auto, è stato

innanzitutto l'aumento dei prezzi, avvenuto mentre i blocchi produttivi colpivano le fabbriche, con conseguente calo dei ricavi per il settore. I Tier1 non sono stati in grado di garantire la fornitura ai loro clienti, gli OEM.

Questi ultimi potranno reagire alla situazione avversa nei seguenti modi: diversificando la fornitura e nazionalizzando, per quanto possibile, il loro pannello fornitori. La cooperazione tra aziende e governi è da auspicarsi, in modo che la crisi non debba ripetersi. Si stima che nel continente americano saranno assunti fino a 50.000 nuovi professionisti nei prossimi 5 anni. Questo perché, grazie all'emanazione del Chips and Science Act del 2022, gli USA stanno incentivando l'aumento della capacità produttiva nel settore dei semiconduttori.

## 2.4. CRISI DEI CHIP NEL SETTORE AUTO E PC

La narrazione prosegue approfondendo gli articoli di questa classe.

### 2.4.1 Perspectives on Supply Chain Management in a Pandemic and the Post-COVID-19 Era [#6]

Il seguente articolo scientifico è il risultato dell'autore giapponese Shuichi Ishida, per cui vengono riportati in tabella 2.h i riferimenti bibliografici.

AUTORI	Shuichi Ishida
DATA	Giugno 2021
NAZIONE	Giappone
RIVISTA	IEEE Engineering Management Review Open Access Volume 48, Issue 3, Pages 146 - 152 Third Quarter 2020 Article number 9169789

**Tabella 2.h** Dati della pubblicazione [#6].

In quest'opera l'autore intende stabilire se sia meglio una gestione distribuita o centralizzata per quanto riguarda la catena di fornitura dell'industria dell'auto e dei Personal Computer. Durante lo studio il ricercatore si è avvalso della revisione bibliografica, ponendo le basi sulla disputa aperta tra l'America e il continente Asiatico. Precedentemente all'avvenuta del Covid-19, si assisteva già a una escalation tariffaria tra USA e Cina, al fine di portare la produzione di componenti critici nel proprio paese. D'altro canto, la delocalizzazione di alcuni prodotti a basso costo era ormai divenuta la regola. Il settore dell'auto si rifornisce infatti dalla Cina in misura tra il 30% e il 60% dei suoi componenti. Durante la crisi pandemica le aziende si sono trovate di fronte all'ipotesi di ristrutturare la propria Supply Chain. L'autore di questo articolo cerca perciò di analizzare i vantaggi e gli svantaggi della

localizzazione (Extra UE) della SC del settore Automotive e dei PC. A valle dello studio, esso ritiene che sarebbe efficace, per il settore automotive, muovere verso una gestione centralizzata, ovvero attuare il tentativo di avvicinare la fornitura verso i principali siti di produzione, scegliendo dei fornitori geograficamente più prossimi. Per quanto riguarda i PC invece, essi trovano vantaggio dalla globalizzazione, anche per via degli standard adottati da tali tipi di prodotti, che rendono interscambiabili una moltitudine di fornitori. Come spunti futuri, il ricercatore suggerisce di includere allo studio altri settori dell'industria elettronica.

#### 2.4.2 The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies [#2]

La tabella 2.c riassume i riferimenti bibliografici.

AUTORI	Wassen Mohammad, Adel Elomri, Laoucine Kerbache
DATA	26 Ottobre 2022
NAZIONE	Qatar
RIVISTA	IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 10, 2022, Pagine 476-483

**Tabella 2.c.** Dati della pubblicazione [#2]

La ragione che muove gli autori nel voler intraprendere questo studio è quello di esaminare le cause della carenza di semiconduttori nel settore dell'auto oltre al suo impatto sulle principali industrie (automotive, comunicazioni ed elettronica di consumo). Altro motivo per cui viene svolto lo studio è quello di fornire raccomandazioni e suggerimenti. La metodologia con cui è stata svolta l'attività di ricerca è quella dell'analisi bibliografica relativa alle pubblicazioni e articoli di settore. Partendo quindi da una panoramica sulla catena di fornitura dei Semiconduttori e la loro distribuzione, viene anche presentata la distribuzione della loro domanda, per quanto riguarda i settori dell'auto e dell'elettronica (computer, telecomunicazioni, di intrattenimento). Si evince che la domanda è trainata per l'11,4% dal settore automotive, 32% dai Computer e il 31% dalle Comunicazioni. Altro dato importante che viene presentato è quello relativo al mercato dei chip, che nel 2021 valeva 553 Miliardi di dollari, cresciuto del 25,6% rispetto all'anno precedente in cui vi era stata contrazione. I ricercatori spiegano che la catena di valore dei chip vede coinvolti attori in diversi 25 Paesi. Essi si occupano di seguire una o più delle 4 fasi di cui si compone l'approvvigionamento dei semiconduttori, che sono: Ricerca Pre-Competitiva, Progettazione, Produzione del Wafer e Assemblaggio (assieme a confezionamento e collaudo), per le quale servono 1400 passaggi, 26 settimane di lavoro e l'impiego di macchinari costosi dell'ordine dei 100M\$. Se i produttori volessero espandere la loro capacità, sarebbe necessario un periodo minimo di 9 mesi. Durante l'emergenza pandemica, in cui governi ed

aziende hanno promosso il lavoro da casa, vi è stato un conseguente calo nella domanda di autoveicoli, in contrasto a un picco della richiesta di dispositivi elettronici, il quale ha portato a lead time di consegna di 120 giorni per alcuni modelli di PC. L'attività di ricerca racchiude diversi dati economici, raccolti su diverse imprese nei vari settori. Per quello che riguarda i Personal Computer, il Brand HP ha registrato un calo del 30% delle spedizioni nel 2020. D'altra parte, Intel ha segnato un calo del 5% dei suoi ricavi sui notebook, a fronte di un maggiore guadagno, 20% nel segmento dei PC Desktop. Riguardo invece al settore della comunicazione e dell'intrattenimento vi è stata una consistente contrazione delle vendite, soprattutto per quello che riguarda gli smartphone. In generale, il calo è stato del 12,5 %, per cui aziende come Samsung si sono trovate a cancellare intere linee di prodotti, come il Galaxy Note.

Stessa sorte è spettata per la nuova fotocamera di Sony, che ha sospeso la sua uscita in commercio. L'azienda Canon ha subito invece 6 mesi di ritardo nelle consegne. Alla fine dell'anno Xiaomi aveva perso il 30% del suo valore (fatturato), mentre Huawei era scesa al secondo posto nella gara contro Apple. Infine, per quello che riguarda il settore dell'intrattenimento, vi è stato un risultato positivo, in quanto la vendita di televisori è stata maggiore nel 2021 del 30%. Per concludere l'elenco di aziende in difficoltà, gli autori hanno individuato un enorme back-order di quasi 9 Milioni nel settore delle apparecchiature mediche, specialmente in caso di ventilatori polmonari.

Passando all'auto, il gruppo Toyota e Volkswagen hanno visto ridursi del 20% le vendite nel 2021. Degli altri competitor sappiamo solo che Ford ha dovuto chiudere temporaneamente i suoi stabilimenti, sempre a causa della carenza di semiconduttori. La General Motors invece, ha optato per un assemblaggio parziale dei suoi veicoli, in attesa dell'arrivo dei restanti componenti. Tesla, Bmw e Porsche hanno fatto fronte alla carenza di chip attraverso riduzione degli optional offerti ai clienti. La fluttuazione della domanda ha quindi portato i produttori a concentrarsi verso settori più redditizi, quali l'elettronica di consumo. Durante la pandemia sono state di ostacolo al fabbisogno dei chip la complessità stessa della Supply Chain, assieme alle avvenute escalation politiche tra America e Cina.

Tra le possibili **contromisure**, suggerite dagli autori del testo vi è senza dubbio l'Aumento delle scorte per componenti critici, oltre quello di diversificare la fornitura. La digitalizzazione potrebbe in futuro giocare un ruolo importante, facendo accrescere la visibilità del processo di approvvigionamento. Anche l'utilizzo della IA per la fase di progettazione potrebbe accorciare i tempi di un processo abbastanza lungo. Vengono segnalate inoltre le politiche intraprese dai vari Governi nel supportare l'industria in questo grave momento. Tutti i player mondiali sembrano condividere la necessità di favorire la Rilocalizzazione geografica della produzione nei pressi in cui è localizzata domanda. In tal senso gli

Usa hanno già stanziato 52 Miliardi di Investimenti per l'industria dei Semiconduttori. Anche L'Europa si è adoperata nel promuovere l'European Chips Act. La Corea del Sud a sua volta sta promuovendo un investimento di 452 Miliardi di dollari nel suo territorio. Altri 100 Miliardi sono previsti da Taiwan per l'espansione delle sue fabbriche in USA. Il Giappone ha dichiarata che intende espandere le sue quote di produzione, mentre l'India ha lanciato il "Semiconductor Startup Incubation and Acceleration Program". Tra gli spunti futuri, gli autori suggeriscono di agire per quantificare i risultati delle contromisure adottate negli anni a venire.

## 2.5. SUPPLY CHAIN RISK MANAGEMENT

Ultima classe in cui sono stati raccolti gli elementi di questa indagine, è rappresentata dalla fonte seguente. Si ritiene che essa sia utile per chiudere il quadro della narrazione, in quanto presenta un'analisi del modo di operare gli approvvigionamenti secondo la Lean Production, ammettendone però i limiti in situazioni particolari.

### 2.5.1 COVID-19: Outcomes for Global Supply Chains [#8]

Lo studio è stato redatto in Portogallo, ma pone il focus sulla situazione globale. La tabella 2.1 descrive la pubblicazione.

AUTORI	Fonseca Luis Miguel, Azevedo Américo Lopes
DATA	1° ottobre 2020
NAZIONE	Portogallo
RIVISTA	Management and Marketing Open Access Volume 15, Issue 1, Pages 424 – 438

**Tabella 2.1.** Dati della pubblicazione [#8]

Gli autori intendono fornire raccomandazioni sul come rendere meno vulnerabile la SC globale e individuare fattori che influenzano le prestazioni operative post covid. Nel redigere l'opera, essi si sono avvalsi della revisione bibliografica, accompagnata dall'analisi dei dati e dalle interviste rivolte ad esperti del settore. La letteratura scientifica di riferimento riguardava la gestione della supply chain e delle sue crisi (Risk Management). Inoltre, i ricercatori hanno visionato report e risorse online presenti su vari siti istituzionali online.

Dall'indagine risulta che la politica Make-to-Order, pone le Supply Chain in condizioni di vulnerabilità nei confronti dell'incertezza della domanda. Le sue fluttuazioni impreviste possono infatti essere causa di interruzioni nelle forniture di materiali per i quali sono previsti specifici lead time di consegna. Una programmazione di questo tipo può dunque generare back-order. Inoltre, condizioni di incertezza possono essere generate di volta in volta dai clienti, i fornitori o i produttori stessi. Una possibile contromisura potrebbe essere quella di aumentare le scorte di sicurezza. La filosofia Lean Production ha portato però negli anni a ottimizzare i livelli di inventario, riducendo al minimo le giacenze e tale sistema è stato replicato anche nei sottolivelli della catena di fornitura, più spesso geograficamente delocalizzata in paesi a basso costo. Gli autori consigliano dunque l'adozione della politica Just-in-Case, la quale prevede appunto un maggior numero di scorte di sicurezza. I fornitori andrebbero inoltre valutati nelle loro performance (qualità, flessibilità, tempi di consegna e prezzo) al fine di operare una loro più precisa selezione per gli anni a venire. In uno scenario post covid sarebbe utile,

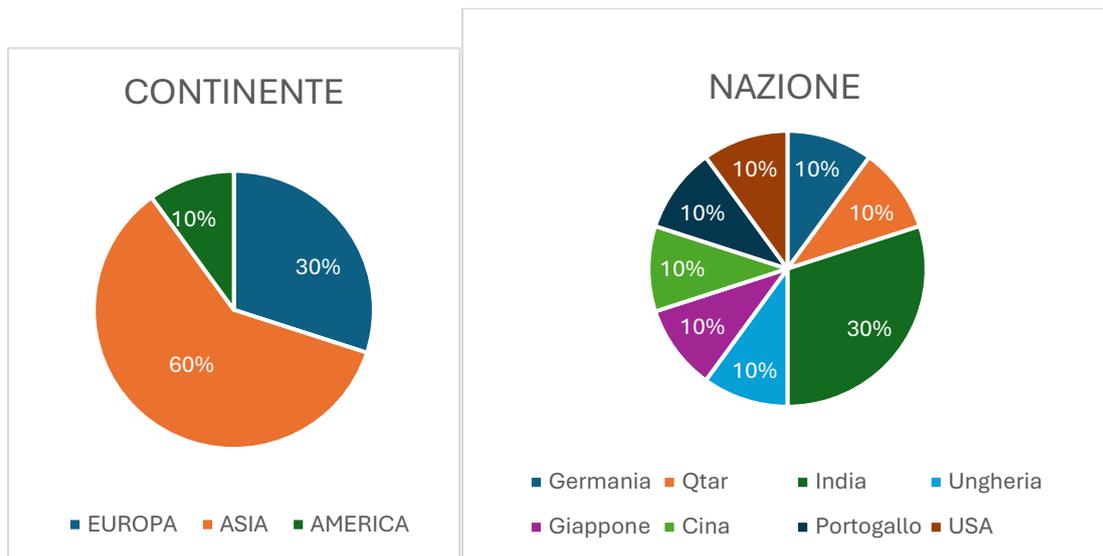
d'altronde, far sì che ci sia ridondanza nelle forniture, soprattutto per quelle che riguardano i prodotti critici. Altro utile accorgimento sarebbe quello di adottare il “nearshoring” ovvero quello di selezionare i fornitori più prossimi geograficamente.

Al fondo dell'opera, gli studiosi, fanno riferimento a un avvenuto brainstorming tra vari docenti universitari sul tema dell'evoluzione della SC dopo la pandemia. Questo dibattito ha evidenziato l'importanza di introdurre i seguenti KPI, al fine di valutare la resilienza di una Supply Chain. Gli indicatori TTR (Time To Recovery) e TTS (Time to Survive) rappresentano rispettivamente il tempo di ripristino e di sopravvivenza della catena di fornitura in caso di interruzione improvvisa. Quando il TTS è maggiore del TTR l'approvvigionamento non si interrompe, poiché le contromisure possono venire adottate prima che insorgano problemi di fornitura sia operativi che finanziari. Ponendo un occhio al futuro, viene consigliato di studiare una politica governativa efficace per incentivare la fabbricazione interna del paese, oltre allo sviluppo di metodi per la diversificazione delle catene di approvvigionamento dei semiconduttori.

## 2.6. ANALISI CRITICA DELLA FONTI

Le fonti che hanno dato sviluppo a questo progetto di tesi, provengono principalmente dal Database SCOPUS, nonché da altri numerosi contributi. La bibliografia è stata supportata da articoli di giornale, tra i quali spiccano le testate Reuters e Il Sole 24 ore, oltre che da generici siti web dedicati al mondo dell'auto e all' E-tech. I ricercatori fanno inoltre riferimento a pubblicazioni online di società di consulenza, McKinsey e Boston Consulting Group, e a bollettini economici da parte della Banca Centrale Europea e della Semiconductor Industry Association (SIA). In questo capitolo le principali pubblicazioni accademiche sono state classificate per: **Nazionalità, Anno di Pubblicazione e Metodologia e Classi**, allo scopo di svolgere una analisi critica sulle suddette categorie. Questa classificazione urge dalla necessità innanzitutto di riconoscere il contributo alle origini degli autori, nonché l'utilità di identificare, nel mondo accademico, quali regioni hanno già avviato le attività di ricerca, e se questa si stia intensificando negli anni a venire. Un probabile punto di vista privilegiato può essere quello offerto dai ricercatori più vicini alle realtà produttive o a un particolare nodo di distribuzione della Supply Chain. Le analisi del fenomeno della Pandemia potrebbero inoltre essere state influenzate dalle entità politiche locali. Da qui nasce l'importanza di identificare anche le modalità di indagine adoperate per la stesura delle varie opere scientifiche.

### Nazionalità degli Autori

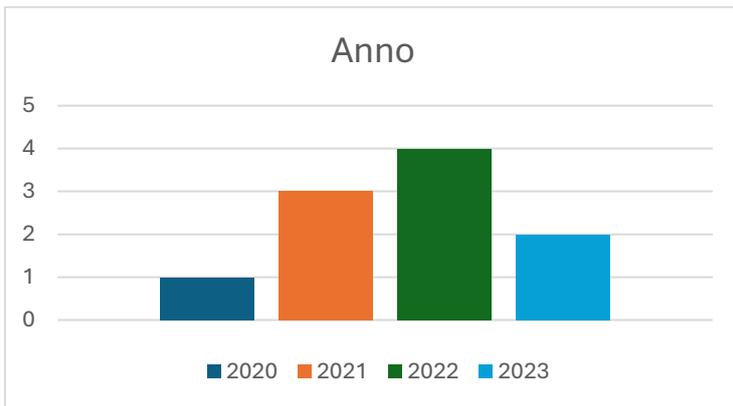


**Figura 2.e.** I diagrammi a torta mostrano la suddivisione in classi per continente e nazione delle fonti scientifiche analizzate.

Il contributo più significativo alla letteratura accademica è stato dato al momento dagli studiosi del continente asiatico. (Figura 2.e). Una possibile spiegazione è da ritrovarsi nel fatto che le nazioni per prime colpite dalla pandemia siano state anche pioniere nello studiare il fenomeno della carenza di semiconduttori, cominciando ad attuare in anticipo strategie di resilienza rispetto al resto del mondo. L'Europa

inizialmente era ignara che l'emergenza sanitaria potesse divenire un fenomeno globale e non circoscritto alla sola Asia. Di conseguenza il nuovo continente si è trovato ad attuare in ritardo le sue contromisure per far fronte al contagio, andando a chiudere le fabbriche in un momento successivo rispetto ai continenti oltreoceano. Una volta superato il lockdown e riprese le attività lavorative in Europa, gli ammanchi di magazzino cominciarono a manifestarsi, scoprendo di non poter più restaurare le proprie scorte con gli stessi tempi e modalità del passato recente. Urgeva quindi la necessità di avviare un'analisi interna al fine di identificare dove fosse il problema. Se inizialmente si poteva imputare questa difficoltà alle politiche di fornitura adottate dagli OEM, solo in un secondo momento la lente di ingrandimento veniva mossa verso i livelli più bassi della catena di fornitura. Si è così scoperto che il blocco degli approvvigionamenti era da identificarsi a valle della SC, in cui operavano tante piccole e grandi aziende di fornitori del Far East. Nel mentre che in Europa ancora si ragionava sul da farsi, i competitor extra-UE cominciano a vedere i primi risultati delle azioni già intraprese dai propri governi, consentendo finalmente ai propri cittadini un ritorno alla mobilità seppur ridotta, con la riapertura degli ambienti di lavoro, come, ad esempio, lo share della fornitura su diversi produttori di chip o componenti nel mondo automotive. Dal punto di vista strategico, le aziende Asiatiche avrebbero potuto prevenire la rottura delle forniture per prime, in quanto osservatori diretti dei primi blocchi produttivi che cominciarono a manifestarsi, dei propri fornitori locali. Altra avvisaglia potrebbe essere stata anche l'aumento delle richieste dei permessi di malattia da parte dei propri dipendenti, che andavano via via aumentando. Questa posizione privilegiata potrebbe quindi aver fatto sì che alcune realtà aziendali potessero aumentare le proprie scorte di sicurezza, accaparrandosi le restanti giacenze a scapito di altre che non dividevano le stesse informazioni sull'avanzamento della Pandemia o non ne avevano la stessa percezione.

## Anno di Pubblicazione

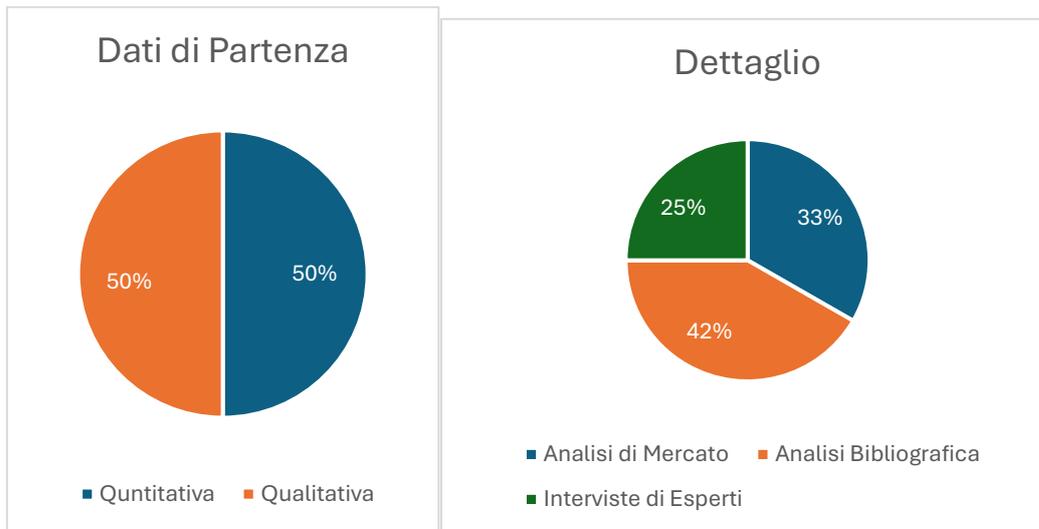


**Figura 2.f.** Istogrammi relativi agli anni di pubblicazione.

La quasi totalità delle fonti è riconducibile al periodo 2020 -2023 (Figura 2.f), dato il verificarsi della pandemia e la relativa crisi dei semiconduttori in questo intervallo di tempo. Dall'osservazione dell'istogramma si deduce un aumento delle pubblicazioni tra il 2020 e l'anno 2022. Nel 2023 sembra che le indagini sulla carenza di semiconduttori nel settore automotive si siano ridotte. Andrebbe però considerato il fatto che esse potrebbero essere non fruibili con licenza open source al momento della stesura dell'indagine. Altro fattore che ha comportato una ridotta bibliografia, è da ricondursi al fatto che la sola ricerca su SCOPUS ha restituito un numero limitato di fonti attinenti all'argomento ricercato, fatto che la maggior parte degli OEM hanno richiesto a tesisti e consulenti la secretazione degli studi e dei progetti di tesi. Altre pubblicazioni potrebbero quindi essere disponibili su Database diversi da quelli utilizzati nella stesura dell'opera.

Essendo inoltre, la crisi dei semiconduttori, ancora un fatto di cronaca attuale, si può prospettare che solo tra qualche anno tutta la bibliografia diventerà accessibile in open source. Molti dati oggi ritenuti sensibili potranno essere disponibili ai ricercatori di domani.

## Metodologia



**Figura 2.g.** Grafici relativi alla tipologia dei dati di partenza e alla metodologia applicata dagli autori analizzati.

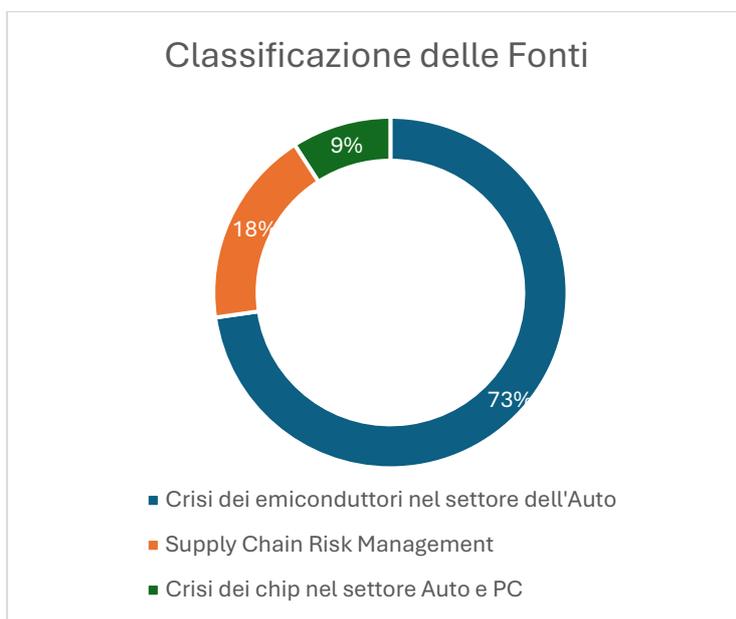
Volendo realizzare una classificazione delle metodologie di studio (Figura 2.g) adoperate dai ricercatori, emerge che l'approccio predominante sia quello della revisione bibliografica e l'analisi della letteratura. Durante la stesura degli articoli scientifici, gli studiosi si sono avvalsi sia di approcci Quantitativi che Qualitativi in ugual misura. Andando più nel dettaglio, gli autori hanno utilizzato le seguenti metodologie:

- *Analisi di mercato*
  - Gli studiosi, nelle loro pubblicazioni hanno analizzato l'andamento dei dati delle vendite e della produzione del settore dell'auto. Così facendo hanno cercato di dimostrare come, durante il lock down, ci sia stata una notevole contrazione di mercato. Tali studi vengono utilizzati dai ricercatori come punto di inizio per poter affrontare il fenomeno della carenza di semiconduttori, che ha avuto origine nello stesso momento in cui avveniva il calo della richiesta di auto nuove da parte dei consumatori, fenomeno che andrà poi in controtendenza con la fine delle restrizioni sanitarie, innescando i problemi di fornitura che sono stati affrontati nel lavoro di tesi.
- *Interviste ad esperti*
  - Manager di grandi case automobilistiche, nonché i loro fornitori diretti, hanno messo a disposizione la loro esperienza al fine di evidenziare l'attuale crisi di fornitura nel settore dei semiconduttori. Alcuni docenti universitari hanno collaborato con i ricercatori, prendendo parte a discussioni sul tema della Resilienza.

- *Analisi della letteratura*
  - Gli Autori fanno riferimento alla letteratura scientifica esistente ad oggi sull'argomento, citando inoltre diversi articoli di cronaca sul settore automobilistico. In alcuni casi i ricercatori hanno accompagnato l'analisi delle fonti a strumenti come l'approccio sistematico e l'analisi tematica.

## **Classi**

Conclude l'analisi critica la divisione degli articoli nelle classi succitate nel precedente paragrafo, in cui appare evidente come la prima classe, abbia avuto un ruolo predominante nella trattazione, figura 2.h.



**Figura 2.h.** Diagramma recante la ripartizione degli articoli in classi.

## CAPITOLO 3 - CONCLUSIONI

In questo capitolo verranno trattate le conclusioni scaturite dall'attività di ricerca. Saranno innanzitutto esposti i risultati che essa ha prodotto, assieme ai contributi alla letteratura. Infine, sarà suggerito verso quali orizzonti rivolgere nuove attività di indagine, compito degli studiosi del domani.

### **Risultato dell'indagine**

- *Impatto sui settori industriali*

La carenza di semiconduttori ha avuto un impatto trasversale su diversi settori. Sebbene il settore dell'automotive in Europa abbia fatto da cassa di risonanza tra le realtà industriali, esso non è stato sicuramente l'unico a venire impattato durante la pandemia. Sono molte le persone che lavorano nel suo indotto e ad essere state assoggettate a blocchi produttivi con la sospensione temporanea delle attività. Soltanto le forniture legate al trasporto merci, considerate di tipo essenziale (alimentare e medicale), hanno ricevuto l'autorizzazione a operare anche durante il lockdown. Gli altri settori produttivi, invece, si sono dovuti attenere alle disposizioni dei propri governi, che ne hanno portato alla paralisi.

Spostando la visione del fenomeno pandemico all'oltreoceano, si osserva come la Cina abbia adottato blocchi fortemente restrittivi all'economia manifatturiera. L'industria che ne esce più colpita, agli occhi dell'Occidente, è senza dubbio quella elettronica.

- *Esperienza dei consumatori*

La maggior parte dei dispositivi tecnologici provenienti dall'estero, sono risultati irreperibili sul mercato. I consumatori europei, specialmente i più giovani e appannati dal relativo stato di benessere dei tempi recenti, hanno potuto sperimentare per la prima volta i risultati di una rottura di stock, una situazione di privazione che generalmente si esacerbava durante gli scorsi conflitti mondiali. La mancanza di beni ha penalizzato i livelli di servizio delle aziende fornitrici e ha fatto aumentare i prezzi. I clienti si sono trovati esposti alle fluttuazioni del mercato come mai prima d'ora. Persino chi è dotato di potere di spesa si è comunque trovato impossibilitato nel soddisfare la propria domanda di beni di consumo, necessità legata soprattutto al lavoro da remoto e all'intrattenimento casalingo (computer, tv, smartphone, ecc..). Molti prodotti sono tornati infatti ad essere disponibili dopo lunghi periodi.

- *Ripresa post pandemia*

Una volta rientrata l'emergenza sanitaria non tutte le aziende erano pronte a ripartire a pieno regime. In particolare, le case automobilistiche si sono mostrate impreparate nel gestire la ripresa della domanda che tornava a crescere. Le azioni adottate in prima battuta durante la crisi, hanno posto gli OEM in una posizione di svantaggio nell'approvvigionamento dei semiconduttori. I produttori di automobili si sono ritrovati a competere con il mercato IT, in piena fase di esplosione. Le contromisure che erano state adottate dai car makers nel breve periodo erano state orientate soltanto a tamponare le perdite durante il lockdown, di cui una delle prassi comuni era stata la cancellazione degli ordini ai fornitori. Tale strategia non ha garantito però una soluzione di continuità nel lungo periodo, quando finalmente ci sarebbe stato il riavvio della produzione. Ecco, quindi, che una realtà manifatturiera come quella dell'auto si è trovata col non poter finalizzare le operazioni di assemblaggio per mancanza di un piccolo componente, ovvero i chip o i moduli di cui esso è parte essenziale per il funzionamento. La scelta di non supervisionare la supply chain di questo sottocomponente ha rappresentato un rischio nettamente sottovalutato per molte case automobilistiche. D'altro canto, neppure i fornitori, in un primo frangente, erano consapevoli di tale problematica, avendo anch'essi avviato un processo di riduzione delle scorte al fine di evitare l'inventario in un periodo di stagnazione della domanda. Essi hanno agito proprio replicando gli stessi meccanismi adoperati dai loro clienti.

- *Politiche di mitigazione*

Gli OEM hanno tentato di percorrere azioni lenitive, come ricorrere all'assemblaggio parziale di alcune vetture, così da non trovarsi a sospendere del tutto la produzione. I veicoli però restavano in stato di semi lavorazione, senza essere quindi pronti per la vendita. Altra strategia, per far fronte alla carenza di chip, è stata quella di allocare le rimanenze su modelli a maggior margine di profitto. Tali contromisure non hanno comunque concorso alla saturazione delle linee, di fatto poco utilizzate, e che necessitano di lavorare a pieno regime per poter far fronte ai costi di energia e manodopera. Allo stesso tempo, fornire ai clienti veicoli a prezzi competitivi sul mercato diventa impossibile, specie se operando in condizioni di bassa produttività. Si ritiene perciò che queste azioni non abbiano potuto costituire un vantaggio concreto durante la fase di ripartenza.

Tra le buone politiche riscontrate, è di indubbia utilità, quella del cercare di allargare la platea di fornitori, allo scopo di creare ridondanze, e procedendo all'accumulo di scorte per i componenti critici. Tale comportamento si allontana un poco dalla filosofia Lean fino ad oggi adottata. In parallelo gli OEM hanno avviato delle task force con il compito di individuare in maniera dettagliata quali chip sono presenti nelle distinte basi degli attuali veicoli. Le case si sono quindi rese conto che occorre studiare il rapporto di dipendenza tra essi ed i componenti elettronici. Una tale

catalogazione ha richiesto il coinvolgimento dei fornitori, al fine della creazione di una solida banca dati.

- *Settore dei semiconduttori*

Emerge inoltre come il settore dell'auto di per sé appaia poco appetibile ai produttori di semiconduttori, dato che nel complesso questi ricavano la maggior parte del loro fatturato dall'elettronica di consumo (12% contro il 60% [#2]). D'altra parte, essi non sembrano interessati a voler esportare il proprio know-how e neppure ad ampliare la propria capacità, se non in virtù di ingenti sovvenzioni statali da parte dell'occidente. Potrebbero essere quindi le politiche americane ed europee le migliori candidate nel fornire un domani risultati concreti al problema nel lungo periodo. Il nuovo continente, infatti, si è scoperto vulnerabile, alla carenza dei chip, soprattutto per quei settori che riguardano la pubblica sicurezza, il welfare e la connettività. Attualmente i chip più moderni vengono disegnati in occidente e con l'avvento dell'IA, ad assistere le fasi di progettazione, si ipotizza che i tempi di rilascio di nuove tecnologie possano essere accelerati. La criticità che permane è però quella dei colli di bottiglia che inevitabilmente si generano in fase produttiva. Probabilmente non si avrà un vantaggio economico nel far sorgere l'industria di semiconduttori al di fuori dell'Asia, ma senza dubbio è divenuta un'esigenza strategica, per poter difendere un qualsiasi primato tecnologico.

## **Contributo alla letteratura**

L'opera, dunque, riassume lo stato della letteratura scientifica ad oggi sul fenomeno globale della crisi dei chip nel campo dell'auto, in riferimento alle fonti disponibili e pubblicate con licenza open source. Viene quindi presentata una panoramica della catena di fornitura dei semiconduttori, osservando come essa si estenda per tutto il planisfero, investigando inoltre il ruolo di fornitori e produttori nei vari continenti.

Dall'indagine emerge chiaramente che la produzione è concentrata in Asia, mentre in Europa prevalgono le attività di design e distribuzione. La gestione degli approvvigionamenti nell'auto è stata analizzata nella sua filosofia ed evidenziando le sue criticità nel far fronte a fenomeni più o meno imprevisi. Viene fornito un confronto con il Just In Case, che sembrerebbe indicato al fine di poter gestire scorte di componenti particolari come i semiconduttori. Non sono stati però trovati esempi di politica Just in Case, nel settore automotive, tra le fonti analizzate. La tesi raccoglie esempi di strategie adottate dagli OEM nel breve e lungo termine, includendo alcuni casi specifici. L'opera risulta quindi utile a conoscere lo stato dell'arte, fino all'anno 2023, nella gestione dei componenti più o meno critici nel mercato dell'auto, in un periodo di forte divenire come quello recente. Si vuole quindi offrire agli studiosi del domani un solido punto di partenza, sul quale poter

approfondire anche aspetti trattati perlopiù in maniera più generale, come ad esempio la delocalizzazione e l'esternalizzazione della produzione. Si reputa quindi che l'opera si presti a fornire un utile strumento di confronto, riguardo agli impieghi che verranno adottati nella supply chain nei prossimi anni.

## **Limitazioni**

La reperibilità delle fonti non è stata agevole. Quando ci si muove all'interno di un fenomeno ancora in divenire, si corre il rischio di lasciarsi trasportare dai fatti di cronaca, i quali riportano saltuariamente un certo tono di allarmismo. Per approcciarsi a un'indagine di questo tipo, occorre l'occhio esperto di chi assiste direttamente ai processi del sistema logistico, ma che allo stesso tempo possa non rimanere influenzato dalle sue percezioni, specie in caso di oscillazioni repentine della domanda e delle richieste di mercato. Di una posizione privilegiata e super partes può godere solo chi analizza i fatti a posteriori. I ricercatori più fortunati, che sono stati ospitati in azienda per studiare il fenomeno, avranno inoltre dovuto siglare degli accordi di riservatezza, celando i dati sensibili alle attività di indagine di enti terzi.

Gli OEM hanno comunque ammesso la difficoltà della situazione, invocando gli aiuti di stato, senza però discolarsi dalle accuse rivolte verso la loro politica industriale. Le debolezze di questo sistema, infatti, sono state messe in luce da diversi osservatori esterni. Agenzie come SIA, ACEA ed EUROSTAT hanno analizzato il mercato dei semiconduttori e il calo delle vendite di automobili negli ultimi anni. Su queste basi gli studiosi hanno tentato di spiegare il fenomeno della più grande crisi delle forniture dei tempi recenti. In generale, la maggior parte delle pubblicazioni sembrano orientate a promuovere la collaborazione tra Europa, America e Asia. Eppure, gli autori dell'est non sembrano voler far riferimento alle loro diversità culturali. Tra le problematiche di fondo che essi evitano di segnalare ai propri rappresentanti vi è quella del benessere sociale. I governi dell'Asia sembrano poco inclini a voler mutare le attuali politiche del lavoro, in ottica di concedere maggior benessere ai propri lavoratori, non nascondendo, di fatto, che questo generi un vantaggio competitivo non da poco nei confronti dell'occidente. Anche le misure di confinamento in questo territorio sono state le più esasperate, rispetto a come sia stata gestita la pandemia nel resto del mondo, dando modo di attuare poi una ripartenza più sostenuta.

## Spunti di ricerca futura

Coinvolgere quindi in futuro le case automobilistiche, come Stellantis, potrebbe dare un enorme valore aggiunto all'analisi sul tema della carenza di forniture, al fine di poter includere dei veri e propri casi studio all'interno della letteratura.

Un particolare componente elettronico o elettromeccanico, quindi dotato di chip o sensore, potrebbe essere preso come oggetto di indagine. Attorno ad esso si ritiene che possa svilupparsi una analisi del suo processo di fornitura, completo di costi e tempi di approvvigionamento, nonché del suo fabbisogno in relazione alle richieste della linea di montaggio. Potendo attingere ai dati storici delle giacenze si potranno fornire esempi concreti dei rischi di fornitura a cui sono stati soggetti i componenti critici, oltre che studiare il fenomeno di rotture di stock sopraggiunte durante il periodo Pandemico, con i suoi tempi di permanenza e di risoluzione. Sarebbe utile, inoltre, poter intervistare lavoratori del dipartimento di logistica e acquisti, in virtù delle scelte e sfide che essi si sono trovati ad affrontare sul campo, per far fronte alla carenza di materiali negli anni passati.

Raccogliere dati aziendali quindi, una volta disponibili, e analizzare gli effetti delle politiche europee e americane, darà un contributo consistente nella spiegazione della crisi dei semiconduttori.

Per ultimo rimane il problema dell'approvvigionamento delle terre rare, una questione che sarà oggetto dei principali studi negli anni a venire. L'evoluzione della tecnologia ha di fatto affiancato le centraline elettroniche all'impiego delle batterie ad alto voltaggio. Se il materiale prevalentemente impiegato per i semiconduttori è senza dubbio il Silicio, ad esso si affianca la necessità delle aziende di approvvigionarsi di materie prime come rame, nichel, cobalto, grafite, litio, molibdeno. Questi elementi, ad oggi, sono i costituenti principali per la fabbricazione delle batterie di trazione dei veicoli elettrici.

Oltre all'intento dei governi occidentali di rilocalizzare la produzione dei chip nel proprio territorio, si sta assistendo a una vera corsa contro il tempo per poter contendersi le risorse minerarie del nostro pianeta. La transizione ecologica, infatti, non può prescindere dal loro impiego [41].

In questo momento è la Cina ad avere il controllo della maggior parte delle terre rare sul mercato ed è leader nella tecnologia di raffinazione. Tale fattore è visibilmente un pericolo per l'industria dell'Europa e degli USA, in quanto strumento di pressione politica verso l'Occidente.

Nel frattempo, l'Europa si è mossa verso la ricerca di risorse mineraria nel proprio territorio. La recente scoperta avvenuta in territorio norvegese di un nuovo giacimento sembra faccia ben sperare, poiché potrebbe offrire l'occasione per affrancarsi finalmente dalla dipendenza straniera in fatto di materie prime [42].

## GLOSSARIO

OEM	La casa madre, ovvero è il costruttore che realizza il prodotto originale, impiegando a sua volta componenti approvvigionati dai fornitori diretti
BOM	Distinta base. La lista di materiali è essenziale nelle fasi di progettazione, produzione e assemblaggio di un prodotto.
Tier 1, 2, 3	Sono i collaboratori, più o meno stretti degli OEM e svolgono un ruolo cruciale nella catena di fornitura. Forniscono i sottosistemi o componenti principali che vengono poi integrati nel prodotto finale.
AUDIT	Valutazione sistematica della capacità di un fornitore di rispettare gli standard concordati, che possono essere di natura legale, normativa, contrattuale o basati su requisiti interni di qualità dell'acquirente.
ADAS	Sistemi elettronici che supportano il guidatore di un veicolo in diverse situazioni che possono riguardare la normale guida fino a momenti di pericolo o emergenza.
BACK-ORDER	Un ordine in arretrato. Significa che un prodotto non può essere attualmente spedito perché non presente nel magazzino, ma che è in attesa di tornare disponibile a breve.

## BIBLIOGRAFIA

Biney, J., Jones Jr., E. C. and Jones, E. C. (2024.) "Understanding the EV Semiconductor Chip Sustainable Supply Chain Chip Shortage" *International Supply Chain Technology Journal*, vol. 10, no. 2, 2024, [FONTE #10]

Fonseca, Luis Miguel, Azevedo Américo Lopes, (2020) "COVID-19: Outcomes for Global Supply Chains", (2020) *Management and Marketing*, 15 (1), pp. 424 – 438 [FONTE #8]

Frieske, B., & Stieler, S. (2022). The "Semiconductor Crisis" as a Result of the COVID-19 Pandemic and Impacts on the Automotive Industry and Its Supply Chains. *World Electric Vehicle Journal*, 13(10), 189. [FONTE #1]

Ishida, Shuichi, (2020) "Perspectives on Supply Chain Management in a Pandemic and the Post-COVID-19 Era", (2020) *IEEE Engineering Management Review*, 48 (3), art. no. 9169789, pp. 146 – 152 [FONTE #6]

M. Kulkarni, P. G. N. Chandrasekar, P. Thangavel and V. Vijayalakshmi, (2023). "A Systematic Approach to Mitigate Semiconductor Chip Shortage: Insights and Solutions for the Future Automotive Industry," 2023 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC-India), Chennai, India, 2023, pp. 1-6 [FONTE #9]

Pelle, Anita (15051116700), Tabajdi, Gabriella, (2021). "Covid-19 and transformational megatrends in the european automotive industry: Evidence from business decisions with a central and eastern european focus", (2021) *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 9 (4), pp. 19 – 33 [FONTE #5]

Srivastava, Suyash & Sood, Vasu & N., Yuvaraj. (2022). "Analysing the Impact of Covid-19 on Automobile Sales in India Using ARIMA Modelling". *Advances in Transdisciplinary Engineering*, Volume 27, Pages 45 - 509 November 2022 [FONTE #4]

Vinay Ramani, Debabrata Ghosh, ManMohan S. Sodhi,(2022). "Understanding systemic disruption from the Covid-19-induced semiconductor shortage for the auto industry", *Omega*, Volume 113, 2022 102720 [FONTE #3]

Wassen Mohammad, Adel Elomri, Laoucine Kerbache, (2022) . "The Global Semiconductor Chip Shortage: Causes, Implications, and Potential Remedies" , *IFAC-PapersOnLine*, Volume 55, Issue 10,2022,Pages 476-483, [FONTE #2]

Wu, Xiling & Zhang, Caihua & Du, Wei. (2021). "An Analysis on the Crisis of "Chips shortage" in Automobile Industry ——Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction". *Journal of Physics: Conference Series*. 1971. 012100. 10.1088/1742-6596/1971/1/012100. [FONTE #7]

# SITOGRAFIA

- [1] <https://www.buyevscars.com/blog/do-car-models-change-every-year/>
- [2] <https://www.ilsole24ore.com/art/i-destini-incrociati-dell-indotto-italiano-e-fca-AEA8NWTF>
- [3] <https://www.startmag.it/smartcity/fca-psa-piattaforme/>
- [4] <https://www.editel.eu/edi-makes-delivery-chains-in-automotive-manufacturing-run-smoothly/>
- [5] <https://www.statista.com/study/167015/semiconductor-supply-chains-and-strategies/>
- [6] [https://www.autopromotec.com/it/ADAS-obbligatorie-in-Italia-da-Luglio-2024-una-rivoluzione-per-la-sicurezza/a982#:~:text=Dal%20luglio%202024%20tutti,\(Advanced%20Driver%20Assistance%20Systems\)](https://www.autopromotec.com/it/ADAS-obbligatorie-in-Italia-da-Luglio-2024-una-rivoluzione-per-la-sicurezza/a982#:~:text=Dal%20luglio%202024%20tutti,(Advanced%20Driver%20Assistance%20Systems))
- [7] [https://www.ansa.it/canale\\_saluteebenessere/notizie/sanita/2023/05/05/la-cronologia-dellemergenza-covid-in-italia\\_5a9a9be2-7b79-432e-be2d-2d8903cc11c9.html](https://www.ansa.it/canale_saluteebenessere/notizie/sanita/2023/05/05/la-cronologia-dellemergenza-covid-in-italia_5a9a9be2-7b79-432e-be2d-2d8903cc11c9.html)
- [8] [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Recent\\_developments\\_in\\_industry,\\_construction,\\_trade\\_and\\_services\\_%E2%80%93\\_short-term\\_statistics\\_data&oldid=657641](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Recent_developments_in_industry,_construction,_trade_and_services_%E2%80%93_short-term_statistics_data&oldid=657641)
- [9] [https://www.ansa.it/canale\\_motori/notizie/industria\\_analisi/2023/07/18/crisi-chip-superata-ma-solo-nel-2030-recupero-industria-auto\\_a00d07df-2701-4b74-9a4a-5565e651f841.html#:~:text=La%20crisi%20per%20carenza%20di,parecchio%2C%20probabilmente%20fino%20al%202030.](https://www.ansa.it/canale_motori/notizie/industria_analisi/2023/07/18/crisi-chip-superata-ma-solo-nel-2030-recupero-industria-auto_a00d07df-2701-4b74-9a4a-5565e651f841.html#:~:text=La%20crisi%20per%20carenza%20di,parecchio%2C%20probabilmente%20fino%20al%202030.)
- [10] <https://www.statista.com/statistics/266973/global-semiconductor-sales-since-1988/>
- [11] <https://www.eetimes.eu/semiconductor-market-rebound-expected-in-2024-but-challenges-lie-ahead/>
- [12] <https://ieeexplore.ieee.org/document/9450614/authors#authors>
- [13] [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021\\_1.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf)
- [14] <https://gizchina.it/2024/05/usa-vs-huawei-spiegato-bene/>
- [15] <https://www.dday.it/redazione/36865/sanzione-dopo-sanzione-gli-usa-vogliono-far-fallire-huawei-vincerà-larroganza-di-trump-o-la-resilienza-di-cinesi>
- [16] <https://www.fm-magazine.com/issues/2021/sep/microchips-and-global-supply-chain.html> - imagine-
- [17] [https://it.wikipedia.org/wiki/Processo\\_Czochralski](https://it.wikipedia.org/wiki/Processo_Czochralski)

- [18] <https://www.dday.it/redazione/36032/come-si-produce-un-processore-e-cosa-vuol-dire-processo-produttivo-a-7-nanometri#:~:text=Un%20wafer%20non%20ha%20all,uno%20di%20fianco%20all'altro.>
- [19] [https://www.corriere.it/economia/lavoro/22\\_marzo\\_17/stellantis-stop-melfi-mancano-semiconduttori-anche-la-guerra-04b6fd30-a5ec-11ec-b9d0-9b9e3bb8f215.shtml](https://www.corriere.it/economia/lavoro/22_marzo_17/stellantis-stop-melfi-mancano-semiconduttori-anche-la-guerra-04b6fd30-a5ec-11ec-b9d0-9b9e3bb8f215.shtml)
- [20] [https://www.repubblica.it/economia/2021/05/03/news/la\\_crisi\\_dei\\_semiconduttori\\_ferm\\_a\\_melfi\\_stop\\_fino\\_al\\_10\\_maggio\\_cig\\_per\\_7\\_mila\\_di\\_stellantis-299208581/](https://www.repubblica.it/economia/2021/05/03/news/la_crisi_dei_semiconduttori_ferm_a_melfi_stop_fino_al_10_maggio_cig_per_7_mila_di_stellantis-299208581/)
- [21] <https://aicadium.ai/case-study-toyota/>
- [22] <https://businessmap.io/lean-management/value-waste/7-wastes-of-lean>
- [23] <https://www.tomshw.it/automotive/in-italia-si-producono-sempre-meno-auto>
- [24] <https://www.wallstreetitalia.com/fca-psa-merger-pro-e-contro-della-fusione/>
- [25] [https://www.milanofinanza.it/news/stellantis-fa-utili-record-per-18-6-miliardi-11-nel-2023-e-alza-il-dividendo-ma-i-margini-calano-al-12-202402150739535615?refresh\\_cens](https://www.milanofinanza.it/news/stellantis-fa-utili-record-per-18-6-miliardi-11-nel-2023-e-alza-il-dividendo-ma-i-margini-calano-al-12-202402150739535615?refresh_cens)
- [26] <https://www.stellantis.com/en/responsibility/diversity-and-inclusion>
- [27] <https://www.sicurauto.it/news/nuovi-modelli-fca-psa-si-inizia-dal-mini-suv-in-polonia/> - immagine
- [28] [https://it.wikipedia.org/wiki/Telaio\\_\(meccanica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Telaio_(meccanica))
- [29] <https://www.intertek.it/automotive/iatf-16949/>
- [30] <https://www.rina.org/it/business/certification/automotive/automotive-audits#:~:text=Gli%20audit%20nel%20settore%20automotive,ogni%20possibile%20fatto re%20di%20rischio.>
- [31] <https://www.sicurauto.it/guide-utili/glossario/a/acceleratore-elettronico/>
- [32] <https://www.stellantis.com/it/news/comunicati-stampa/2023/july/stellantis-adotta-una-strategia-diversificata-per-i-semiconduttori-per-garantire-la-sicurezza-delle-forniture-e-promuovere-l-innovazione#:~:text=Stellantis%20collabora%20con%20partner%20strategici,e%20tecnologie%20STLA%20all'avanguardia.>
- [33] <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-covid-19-impact-on-eu-automobile-production-full-year-2020/>
- [34] <https://www.acea.auto/figure/interactive-map-employment-impact-of-covid-19-on-the-european-auto-industry/>
- [35] <https://www.nytimes.com/2021/04/23/business/auto-semiconductors-general-motors-mercedes.html>

[36] <https://24plus.ilsole24ore.com/art/cosi-logistica-ritorna-futuro-just-in-time-si-passa-just-in-case-AEHpvg4>

[37] <https://coarsa.it/sistemi-di-sicurezza-adas-perche-sono-stati-introdotti-e-che-vantaggi-offrono/>

[38] <https://www.motorionline.com/byd-che-crescita-superati-i-numeri-di-toyota-nel-mercato-giapponese/>

[39] <https://www.motorbox.com/auto/magazine/vivere-auto/classifica-costruttori-auto-vendite-mondo-top-10>

[40] [https://www.mecalux.it/blog/just-in-case-jic#:~:text=Il%20just%2Din%2Dcase%20\(%20fronte%20di%20un%20ordine.](https://www.mecalux.it/blog/just-in-case-jic#:~:text=Il%20just%2Din%2Dcase%20(%20fronte%20di%20un%20ordine.)

[41] <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/chip-e-terre-rare-le-battaglie-geopolitiche-del-2022-la-cina-stacca-gli-avversari/>

[42] <https://www.fortuneita.com/2024/06/12/in-norvegia-il-piu-grande-giacimento-di-terre-rare-in-europa/#:~:text=Non%20%27C3%A8%20una%20miniera%20d,anche%20per%20la%20geopolitica%20globale.>