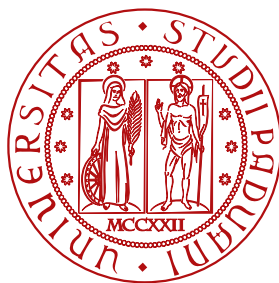


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE POLITICHE, GIURIDICHE E
STUDI INTERNAZIONALI

Corso di laurea *Magistrale* in Relazioni internazionali e
diplomazia



Intelligenza Artificiale e supremazia tecnologica:
la centralità dell'hardware nella nuova architettura
della balance of power

Relatore: Prof.
DAVID BURIGANA
Co-relatore: Prof.
ALESSANDRO PACCAGNELLA

Laureando:
LUCIA RAMPADO
matricola N.
2094647

A.A. 2024/2025

*Al mio Matteo,
A mia Madre e a mio Padre.*

Abstract

Lo sviluppo dell'Intelligenza Artificiale ha avuto impatti significativi sul piano tecnico-scientifico e sul versante geopolitico, economico e ambientale. L'implementazione di questa nuova tecnologia, quindi, rappresenta una delle trasformazioni tecnologiche più dirompenti del XXI secolo.

Questo elaborato finale si pone l'obiettivo di esplorare in maniera approfondita la connessione tra l'avanzamento dell'IA e il nuovo bilanciamento degli equilibri globali di potere ponendo al centro dell'analisi il ruolo strategico dell'hardware e dei semiconduttori. Si parte da una definizione teorica di Intelligenza artificiale e dei suoi prerequisiti strutturali per poi arrivare a descrivere l'ecosistema tecnico e industriale che ne permette il funzionamento. Si evidenzia come la filiera dei chip sia profondamente interconnessa e geograficamente distribuita, anche se altamente concentrata in pochi attori chiave come NVIDIA, TSMC e ASML. Ciò crea una dipendenza tecnologica strutturale che diviene leva geopolitica.

L'elaborato analizza la competizione tecnologica su tre livelli principali: tra Stati (con particolare riferimento a Stati Uniti e Cina), tra aziende leader nel settore IA (come OpenAI, Google e Meta) e all'interno degli stessi Stati Uniti. Si vuole, inoltre, analizzare le implicazioni etiche, ambientali e sociali dell'impiego quotidiano dell'IA, evidenziandone criticità come l'elevato consumo energetico ed idrico dei Data Center, gli ingenti rifiuti elettronici, le forti disuguaglianze economiche e la dilagante polarizzazione sociale e lavorativa.

Il lavoro guarda criticamente al futuro, chiedendosi se la decentralizzazione dell'hardware e la riduzione dell'impatto ambientale dei modelli IA siano ipotesi plausibili al fine di garantire una sostenibilità a lungo termine.

Infine, si evidenzia come l'hardware abbia assunto un ruolo strategico globale e come solo un approccio cooperativo, sostenibile ed etico possa scongiurare eccessivi squilibri di potere e consentire uno sviluppo dell'IA più inclusivo e democratico.

Abstract	V
1. Introduzione	5
1.1. Definizione di Intelligenza Artificiale (IA)	5
1.2. Obiettivi della tesi.....	7
2. Il Quadro Generale dell'Intelligenza Artificiale nella Geopolitica	9
2.1. L'IA come nuova frontiera tecnologica	9
2.2. Il ruolo dell'hardware e del software nell'IA	15
2.3. La rivalità nel mercato domestico statunitense.....	19
2.4. Il cambio di paradigma: dagli anni '90 ai 2000.....	22
3. Il Controllo dell'hardware	27
3.1. La centralità dei semiconduttori nell'IA	27
3.2. Il caso Cina e Taiwan.....	34
3.3. NVIDIA: un attore chiave nell'hardware dell'IA.....	40
3.4. L'hardware come aspetto cruciale: dipendenza e rischi	44
4. Implicazioni del Controllo dell'hardware	49
4.1. Geopolitica e sovranità tecnologica.....	49
4.2. Le terre rare come una leva di potere	56
4.3. Semiconduttori e Sanità pubblica	61
4.4. L'alleanza tecnologica tra Cina e Africa.....	64
4.5. Sviluppo tecnologico dei Paesi emergenti.....	69
5. La Visione del Futuro e le Sfide da Affrontare.....	73
5.1. La decentralizzazione della produzione hardware è possibile?.....	73
5.2. La collaborazione internazionale: una soluzione realistica?	76
5.3. Etica e regolamentazione dell'IA	79
5.4. La creazione di un sistema mondiale sostenibile.....	84
6. Conclusioni.....	91
6.1. Sintesi delle principali osservazioni	91
Glossario.....	95
Mappa concettuale riassuntiva.....	101
Bibliografia:.....	103

**Intelligenza Artificiale e supremazia tecnologica:
la centralità dell'hardware nella nuova
architettura della balance of power**

1. Introduzione

1.1. Definizione di Intelligenza Artificiale (IA)

L'Intelligenza Artificiale (IA) è una delle tecnologie più rivoluzionarie del secolo e un importante fattore per la politica internazionale in quanto in grado di influenzare le dinamiche di potere globale. È generalmente intesa come la capacità (o il tentativo) di un sistema informatico di replicare una forma di intelligenza.

L'Intelligenza Artificiale per funzionare necessita di un'enorme quantità di dati ed è per questo motivo che, pur essendo stata ampiamente studiata già molti anni fa, non era una tecnologia applicabile in quanto non erano disponibili i dati che sono disponibili al giorno d'oggi. I social network e i motori di ricerca svolgono un ruolo fondamentale nel reperimento di dati che vengono forniti, più o meno consapevolmente, da miliardi di utenti in tutto il mondo. L'importanza dei dati per il funzionamento di questa nuova tecnologia fa sì che essi vengano spesso definiti come il “nuovo petrolio”. Il carburante delle nuove tecnologie dell'Intelligenza Artificiale e del Machine Learning sono i dati integrati e, quindi, per ottenere il primato in queste tecnologie, anche in campo bellico, *conditio sine qua non* è possedere una enorme banca dati racchiusi in un cloud nel quale siano in grado di interagire.

Tuttavia, i dati non sono l'unico elemento necessario allo sviluppo e al miglioramento dell'IA. È necessario a tal riguardo fare un passo indietro e incentrare la riflessione sull'elemento alla base delle moderne tecnologie: i chip.

I chip sono costituiti da circuiti elettrici composti da miliardi di transistor il cui elemento base è il silicio. Grazie alle loro proprietà di resistività elettrica, i semiconduttori consentono di realizzare le componenti base dei chip: transistor, condensatori, diodi e resistori. Il materiale semiconduttore ad oggi maggiormente impiegato nella realizzazione dei chip risulta il silicio il quale è in grado di consentire l'integrazione di decine di miliardi di componenti base su un singolo chip.

I chip possono essere classificati in diversi sottogruppi in base alla loro funzione e il sottogruppo di maggiore interesse di questo lavoro sono i microprocessori.

Il processo di produzione di chip può essere suddiviso in tre fasi principali:

- Progettazione e design;
- Fabbricazione;
- Assemblaggio;

Ognuna di queste fasi è ospitata da stati diversi: la fase della progettazione e del design è principalmente svolta negli Stati Uniti e la leadership dominante delle imprese americane in questa fase consente loro di esercitare un forte controllo sulla proprietà intellettuale. La fase della fabbricazione è fortemente concentrata in Asia con le imprese asiatiche, soprattutto sud coreane e taiwanesi, che detengono circa il 90% del mercato potenziale delle tecnologie più avanzate.¹

La fase dell'assemblaggio è la fase finale della produzione che, essendo una fase prettamente *labour intensive* a basso valore aggiunto, viene realizzata in paesi come Malesia, Vietnam e Filippine nei quali il costo del lavoro è relativamente più basso.

La supply chain dei semiconduttori e dei chip coinvolge numerosi protagonisti in diversi paesi e plasma le dinamiche di potere globali. Alla base della produzione dei chip più avanzati vi è la Advanced Semiconductor Materials Lithography (ASML). Questa azienda, situata in Olanda, è l'unica azienda al mondo a produrre macchinari in grado di generare fotolitografia con l'ultravioletto estremo (EUV)² necessario alla produzione dei chip. Queste macchine sono in grado di creare e focalizzare la luce con lunghezze d'onda corte quasi come i raggi X, invisibili all'occhio umano.. Tuttavia, ASML non fabbrica i chip ma uno dei macchinari chiave per realizzarli: la Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) produce 9 su 10 dei chip più avanzati del mondo. L'azienda statunitense NVIDIA è la protagonista principale della progettazione e dello sviluppo dei chip necessari per l'implementazione dell'IA. La stretta collaborazione tra la taiwanese TSMC, l'olandese ASML e il governo statunitense ha fatto sì che nel 2022 venisse stipulato un patto per impedire la vendita dei macchinari di ultima generazione alla Cina.

¹ Ministero dell'Economia e delle Finanze, Dipartimento del Tesoro, *L'industria globale dei semiconduttori e il ruolo dell'Italia*, Nota Tematica n. 3/2023, Roma: MEF, 2023, p.19-22.

² Un tipo di luce presente naturalmente sulla Terra solo in fenomeni esterni, come per esempio durante la scarica dei fulmini.

Un altro fattore da tenere in considerazione sono le così dette “terre rare” e i materiali critici. In questo caso è la Cina a vantare un vantaggio rispetto agli attori precedentemente menzionati: oltre al silicio, la produzione di chip richiede elementi critici come germanio e gallio prodotti principalmente in Cina. La Cina, infatti, produce il 98% del gallio grezzo al mondo e oltre i 2/3 del germanio grezzo al mondo.³ La dipendenza internazionale dalle terre rare cinesi è uno dei motivi per i quali il presidente americano Donald Trump è alla continua ricerca di un’intesa con l’Ucraina.

Come si può evincere da questa breve introduzione, il campo dell’Intelligenza Artificiale non ha implicazioni solamente tecnologiche e informatiche bensì si va spesso ad intrecciare con le dinamiche politiche e internazionali. Non si può nemmeno trascurare l’impatto ambientale che questa nuova tecnologia comporta e comporterà in futuro: le risorse energetiche e idriche dei paesi diventeranno variabili importanti nella fattibilità economica e politica della costruzione di data center a livello nazionale. L’implementazione di nuove infrastrutture digitali si prevede che supererà la capacità delle energie rinnovabili e determinerà un maggiore consumo di fonti energetiche basate sugli idrocarburi.

Infine, oltre ad avere ripercussioni nelle relazioni internazionali e ambientali, l’IA apre un importante dibattito riguardo alla protezione dei dati personali e della privacy degli utenti spingendo attori come l’Unione Europea ad attivarsi per regolamentare la materia.

1.2. Obiettivi della tesi

Il presente lavoro di tesi si pone l’obiettivo di analizzare le connessioni tra la nuova tecnologia dell’Intelligenza Artificiale (IA), tenendo in considerazione software, hardware e dimensione geopolitica internazionale. Si vuole analizzare in particolare come questi fattori siano in grado di influenzare le dinamiche globali.

³Sullivan, H., “Inside the Mind-Bending, Tin-Blasting and Hyper-Political World of Microchips”, *The Guardian*, 28 febbraio 2025.

L'Intelligenza Artificiale è ormai divenuta una componente fondamentale della tecnologia di questo secolo. Lo sviluppo e il controllo di questa nuova tecnologia sono influenzati da questioni geopolitiche in continua evoluzione; il dibattito tra il presidente statunitense Donald Trump e il capo di Stato ucraino Volodymyr Zelensky sono prova tangibile del continuo evolversi delle relazioni internazionali in questo campo. Verrà analizzato come le nazioni, i blocchi economici e le aziende interagiscono al fine comune di ottenere e mantenere una forte leadership in questi settori influenzando inevitabilmente gli equilibri sociali, politici, economici e strategici.

Nel presente lavoro si vuole analizzare anche come il controllo della produzione e distribuzione dell'hardware sia divenuto una importantissima leva geopolitica, in particolare facendo riferimento al settore dei semiconduttori. Si vuole, in questo senso, concentrare l'analisi sulle dinamiche che coinvolgono Cina, Taiwan e Stati Uniti, risaltando come ciascuna di queste potenze si posizioni in un mercato globale competitivo e strategicamente rilevante. Verranno presi in considerazione anche gli aspetti economici, tecnologici e politici che determinano l'accesso e il controllo delle risorse necessarie allo sviluppo dell'IA. Si vuole, infine, approfondire il ruolo di NVIDIA, azienda leader nel campo della produzione di unità di elaborazione grafica (Graphic Processing Unit, GPU) e nello sviluppo di chip per l'Intelligenza Artificiale.

Si conclude la tesi con uno sguardo al futuro con particolare focus sull'impatto ambientale e etico di questa nuova tecnologia.

2. Il Quadro Generale dell'Intelligenza Artificiale nella Geopolitica

2.1. L'IA come nuova frontiera tecnologica

L'Intelligenza Artificiale è senza dubbio una delle innovazioni tecnologiche più importanti del XXI secolo. Pertanto, questa ha profondamente influenzato la geopolitica mondiale. La competizione per ottenere il primato in questo settore vede tra i protagonisti principali Stati Uniti e Cina. Malgrado questi due players condividano lo stesso campo da gioco, i loro obiettivi sono sensibilmente diversi. Se da un lato gli statunitensi puntano su aziende leader come NVIDIA con obiettivi sia civili che militari, i cinesi dal canto loro hanno delineato una strategia nazionale ambiziosa che punta ad ottenere una leadership mondiale nel settore dell'IA entro il 2030. L'Intelligenza Artificiale, quindi, si presenta come un vero e proprio ecosistema che riscrive le dinamiche globali del potere.

Non è trascurabile l'impatto dell'Intelligenza Artificiale sull'economia globale in quanto questa ha il potenziale di incrementare la produttività e stimolare la crescita economica. Tuttavia, questa nuova tecnologia non è esente da critiche e perplessità: l'espansione delle infrastrutture necessarie allo sviluppo e all'impiego dell'IA, come i Data Center, richiedono molta energia e per questo motivo nell'ultimo periodo ci si interroga sulla sua effettiva sostenibilità ambientale. Un chiaro esempio di ciò si può identificare nel rinnovato e sempre più crescente interesse nell'energia nucleare. Molti grandi player del settore tecnologico, Microsoft in primis, stanno infatti investendo molto nella realizzazione di nuovi impianti che siano in grado di soddisfare la costante richiesta di energia dei loro server, in crescita esponenziale negli ultimi anni. L'energia nucleare, infatti, potrebbe giocare un ruolo fondamentale nel sostenere l'altissimo fabbisogno energetico dell'Intelligenza Artificiale in quanto essa offre una fonte di energia elettrica stabile, ad alta intensità energetica e a basse emissioni di carbonio, tutte caratteri-

stiche che la rendono ideale per l'alimentazione di infrastrutture critiche. Microsoft ha di recente dichiarato di voler integrare dei piccoli reattori modulari (SMR) nel proprio piano energetico in quanto si è posta l'obiettivo di dare una certa autonomia ai Data Center dedicati all'IA e di renderli più sostenibili nel lungo termine. Iniziative come questa dimostrano come vi sia un certo impegno anche da parte delle grandi aziende per coniugare innovazione tecnologica e sostenibilità ambientale in quanto si punta sempre di più a soluzioni energetiche avanzate per supportare la crescita dell'IA⁴. Tuttavia, nonostante questi cospicui investimenti, non vi è ancora stato il tempo di raccogliere i loro frutti, di conseguenza l'addestramento dei modelli IA necessita ancora di un'enorme quantità di energia elettrica che molto spesso proviene da fonti non rinnovabili. Questo grande consumo elettrico a sua volta contribuisce alle emissioni di gas serra e, quindi, al fenomeno del cambiamento climatico.

L'impronta globale del consumo di elettricità per scopi che riguardano l'informatica si prevede raggiungeranno il 21% entro il 2030 rispetto al 1-2% del 2018.⁵ In questo contesto i modelli di Intelligenza Artificiale generativa hanno un consumo energetico esponenzialmente maggiore. Se, ad esempio, consideriamo che l'addestramento di ChatGPT-4.0⁶ ha richiesto, secondo alcune stime, 1.750 megawattora (MWh) di elettricità ci rendiamo conto che questo corrisponde al consumo annuale di circa 160 abitazioni americane. Considerando che OpenAI rilascia circa ogni 6 mesi un nuovo modello che richiede un nuovo allenamento e che non è l'unico a lavorare in questo settore, risulta evidente che questo procedimento comporti un consumo energetico tutt'altro che marginale. È importante tenere in considerazione anche il fatto che il consumo energetico non si limita esclusivamente alla fase di addestramento ma che ogni richiesta effettuata dagli utenti consuma tra i 0,14 e i 0,3 wattora (Wh). Questa cifra potrebbe sembrare insignificante. Tuttavia, se si considera che ChatGPT nel 2024 ha avuto una media di 700 milioni di utenti attivi ogni mese, ci rendiamo subito conto che la cifra potrebbe

⁴ CNBC, *Microsoft is hiring a nuclear energy expert to help power data centers*, CNBC.com, 25 settembre 2023.

⁵ Lazard, *The Geopolitics of Artificial Intelligence*, Lazard.com, 2024, pp.3-4.

⁶ Un modello linguistico avanzato recente sviluppato da OpenAI, lanciato nel marzo 2023.

non essere poi così bassa. Se assumiamo che ognuno dei 700 milioni di utenti faccia una media di 5 richieste al giorno, emerge che per soddisfare le richieste degli utenti sfruttando un modello già allenato si consumano tra 14.700MWh e 31.500MWh in un solo mese. Questa cifra corrisponde al consumo mensile di circa 16.350/33.050 case americane.^{7 8}

In altre parole, il legame intrinseco e indissolubile tra IA e un elevato consumo di risorse ha un forte impatto sulle relazioni internazionali e sulle dinamiche geopolitiche mondiali in quanto si contrapporrà agli obiettivi di de-carbonizzazione che sono nell'agenda politica di molte economie avanzate, come ad esempio all'interno dell'Unione Europea. Questi problemi sono già tangibili e visibili in quanto le richieste energetiche dei Data Center stanno già creando non pochi problemi a livello locale. Le frequenti interruzioni di corrente causate dall'inevitabile sovraccarico delle reti elettriche sono fenomeni che hanno un impatto negativo considerevole per le comunità locali.

Oltre al grande consumo di corrente elettrica, vi è anche un altro importante aspetto da considerare: la questione idrica. I Data Center producono una grandissima quantità di calore e, per assicurare il corretto funzionamento delle apparecchiature contenute al loro interno, è essenziale prevedere un costante processo di raffreddamento. In questo senso si utilizzano dei sistemi centralizzati di raffreddamento a liquido. Questo metodo, pur essendosi dimostrato molto efficace, ha un'enorme impronta ecologica in quanto comporta un consumo considerevole di acqua. Più nello specifico, se guardiamo alla generazione di una singola immagine tramite IA, questa potrebbe richiedere tra i 2 e i 5 litri di acqua per il raffreddamento dei server. Questo comporta un consumo totale medio settimanale che può raggiungere i 216 milioni di litri⁹ corrispondenti a circa 85-86 piscine olimpioniche.

Durante l'allenamento del precedente modello di OpenAI, ChatGPT3, sono stati consumati circa 700 mila litri di acqua dolce in un solo ciclo di formazione. Questi valori

⁷ Sempre tenendo in considerazione la ricerca del 2022 secondo la quale una casa americana media consuma mensilmente tra i 899kWh;

⁸ EIA, *How much electricity does an American home use?*, U.S. Energy Information Administration, 2023.

⁹ Cadenaser, *El gasto energético de la IA: cada imagen generada con ChatGPT consume entre 2 y 5 litros de agua*, Cadenaser.com, 5 Aprile 2025.

risultano essere piuttosto contenuti soprattutto grazie all'alta efficienza dei Data Center di Microsoft negli Stati Uniti. Se la stessa operazione fosse stata effettuata, ad esempio, in Asia il consumo sarebbe, con tutta probabilità, triplicato in quanto manca l'efficienza delle torri di raffreddamento occidentali.

È importante altresì tenere a mente che i dispositivi elettronici usati per l'IA molto spesso divengono obsoleti in un lasso molto breve di tempo in quanto la continua progressione della ricerca consente una rapida evoluzione e un celere miglioramento delle tecnologie. Ciò ha a sua volta un impatto ambientale non indifferente in quanto si vengono a generare grandi quantità di rifiuti elettronici (e-waste). Come ultimo aspetto da considerare vi è l'impatto ambientale negativo che può avere l'estrazione e la lavorazione dei materiali necessari per la produzione di dispositivi elettronici.

Da quanto presentato fino ad ora, risulta evidente che il fattore ambientale stia diventando sempre più determinante nella scelta delle aree dove costruire i Data Centre in quanto le risorse energetiche ed idriche dei paesi rappresentano variabili fondamentali per la fattibilità economica e politica della costruzione di queste infrastrutture a livello nazionale. L'abbondanza di risorse energetiche, idriche e in generale ambientali degli Stati sono, quindi, un fattore geopolitico imprescindibile in quanto consentono materialmente lo sviluppo dell'IA. Per gli stati che non hanno disposizione sufficienti ed economiche risorse ambientali potrebbe essere necessario ricercarle in paesi dove gli standard di sicurezza informatica sono inferiori con un conseguente aumento dei costi di protezione delle infrastrutture digitali critiche.

L'utilizzo di energia rinnovabile per alimentare i Data Center e gli altri sistemi informatici assieme ad un'ottimizzazione dell'efficienza energetica potrebbero rappresentare delle valide soluzioni in vista della riduzione dell'impatto ambientale dell'IA. Inoltre, un maggiore e più efficiente riciclo dei dispositivi elettronici e delle loro componenti, coordinato con lo sviluppo di algoritmi più efficienti che richiedono minori risorse computazionali ed energetiche e con la promozione di una maggiore responsabilità ambientale tra gli sviluppatori e gli utenti dell'IA potrebbe essere la via più efficiente verso una maggiore sostenibilità ambientale.

Un'altra questione rilevante si può identificare nel fatto che l'adozione diffusa dell'Intelligenza Artificiale potrebbe comportare un'accentuazione delle disuguaglianze economiche sia all'interno dei singoli stati che, in un'ottica allargata, a vantaggio dei paesi tecnologicamente avanzati e a discapito di quelli in via di sviluppo. L'inserimento dell'IA all'interno del mercato del lavoro potrebbe accentuare le disparità esistenti tra le diverse categorie di lavoratori in quanto coloro che dispongono di competenze informatiche e tecniche avanzate sarebbero in grado di usufruire della tecnologia sfruttandola al massimo per ottenere un aumento della produttività e, di conseguenza, un innalzamento salariale. D'altra parte, invece, i lavoratori meno qualificati e generalmente con un'età anagrafica superiore, rappresentano i perdenti dell'innovazione in quanto rischiano di venire sostituiti da sistemi automatizzati che risultano maggiormente efficienti a parità di valore economico. Questo fenomeno, quindi, potrebbe intensificare la polarizzazione del mercato del lavoro allargando la distanza tra i lavoratori altamente qualificati e maggiormente remunerati da quelli a basso reddito¹⁰.

A livello globale, invece, l'IA rischia di amplificare la disuguaglianza economica tra le nazioni sviluppate e quelle in via di sviluppo. I paesi che dispongono di risorse economiche significative saranno in grado di investire nella ricerca e nello sviluppo del settore dell'Intelligenza Artificiale e di conseguenza saranno anche quelli che avanzeranno rapidamente. I paesi con risorse limitate, invece, faticeranno a mantenere il passo. Questa disparità rischia di consolidare le già esistenti posizioni dominanti delle economie avanzate a discapito delle nazioni meno sviluppate le quali rimarrebbero ulteriormente indietro.

Adottare politiche che promuovono la formazione e l'educazione informatica assume un'importanza fondamentale in questo senso in quanto ciò consente alla forza lavoro di prepararsi alle nuove realtà tecnologiche. Si rivela, inoltre, necessario anche sviluppare delle nuove strategie di redistribuzione della ricchezza economica che consentano di

¹⁰ IMF, *AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity*, IMF.org, 14 gennaio 2024.

distribuire più equamente i benefici derivanti dallo sviluppo dell'Intelligenza Artificiale. È solo attraverso un approccio inclusivo che sarà possibile valorizzare al massimo tutto il potenziale dell'IA pure evitando l'accentuazione delle diseguaglianze esistenti (e persistenti).

Se guardiamo all'Intelligenza Artificiale dalla prospettiva militare, questa sta rivoluzionando completamente le strategie di difesa dei Paesi in quanto l'introduzione di sistemi autonomi e l'ottimizzazione delle operazioni consentono una riduzione dei costi a parità di efficienza pratica. D'altro canto, però, ciò solleva questioni etiche e di sicurezza in quanto l'automazione delle scelte militari potrebbe aggirare il controllo umano.

Se guardiamo al piano sociale, l'integrazione dell'IA nella nostra vita quotidiana apre a numerosi interrogativi che spaziano dall'etica alla privacy fino all'impatto di questa nel mercato del lavoro con la possibile scomparsa di molte delle mansioni tradizionali e la contemporanea necessità di personale con nuove competenze.

In tutto questo discorso, l'Italia e più generalmente l'Europa si trovano in una posizione debole in quanto nonostante la presenza di talenti e di competenze altamente specializzate, mancano di investimenti significativi e, soprattutto, di una strategia coordinata. Questa mancanza rischia di costringere il continente ad avere una posizione marginale nella corsa globale all'IA. Si ritiene, quindi, essenziale per l'Europa attivarsi per implementare lo sviluppo di un'ecosistema favorevole all'innovazione e alla ricerca nonché di sostegno alle imprese tecnologiche emergenti al fine di mantenere una certa competitività in un contesto internazionale in costante evoluzione.

L'Intelligenza Artificiale costituisce, quindi, una *forza trasformativa* che detiene il potenziale di ridefinire la geopolitica globale. Per riuscire ad affrontare le nuove sfide ambientali ed energetiche, sociali ed etiche è necessario un approccio equilibrato e collaborativo che tenga in considerazione lo sviluppo sostenibile ed inclusivo di questa nuova tecnologia.

L'uso sempre più diffuso dell'Intelligenza Artificiale da molte nuove opportunità ma solleva anche moltissime preoccupazioni. È auspicabile un uso responsabile di questi strumenti al fine di non compromettere lo sviluppo e il benessere degli utenti, specialmente dei giovani i quali sono i soggetti più esposti. Un uso eccessivo o non critico dell'IA potrebbe portare ad un'inibizione del senso critico e alla diminuzione dell'autonomia cognitiva. Esiste, inoltre, il rischio di esposizione a contenuti non adeguati e manipolativi che possono influenzare negativamente il comportamento e le relazioni sociali, in particolare modo dei minori.

È, quindi, essenziale che sia gli sviluppatori che gli utenti adottino pratiche volte ad un utilizzo consapevole ed equilibrato dell'IA in modo che questa supporti ed arricchisca l'esperienza umana senza sostituirsi ad essa.

2.2. Il ruolo dell'hardware e del software nell'IA

L'IA è il frutto dell'interazione di software e hardware, due componenti complementari ma allo stesso tempo profondamente diverse per quanto riguarda struttura, distribuzione e rilevanza geopolitica. Nello specifico, il software per l'IA comprende un insieme di programmi, librerie, framework e algoritmi che consentono la progettazione, l'addestramento e la valutazione dei modelli di Intelligenza Artificiale. Si tratta, quindi, di quella componente logica che trasforma i dati in modelli intelligenti mediante l'utilizzo di tecniche matematiche e logiche statistiche. Tra le principali componenti della parte software non possiamo non citare le librerie e i framework, essenziali strumenti che permettono di semplificare sensibilmente lo sviluppo, garantendo una maggiore modularità, riutilizzabilità e scalabilità del codice prodotto. Tra queste evidenziamo TensorFlow, Keras e PyTorch, che sono framework per reti neurali profonde, Scikit-learn e Hugging Face Transformers. Rientrano tra le componenti principali anche i modelli di apprendimento, come il Machine Learning, il Deep Learning e gli algoritmi di ottimizzazione.

Il software per l'Intelligenza Artificiale è prodotto in un contesto globalizzato e decentralizzato nel quale aziende, start-up e centri di ricerca contribuiscono allo sviluppo

di algoritmi, framework e modelli. Le piattaforme come TensorFlow, PyTorch e Hugging Face consentono agli sviluppatori allocati in tutto il mondo di fruire di strumentazione avanzata e condivisa per la creazione e l'addestramento dei modelli di IA. Grazie a questa apertura, abbiamo assistito ad un rapido avanzamento tecnologico e ad una progressiva democratizzazione degli strumenti. È importante tenere a mente, però, che le Big Tech come Google, Microsoft e Meta mantengono una posizione dominante nello sviluppo e diffusione dei modelli più avanzati.

La componente software, essendo decentralizzata, consente a chiunque possa accedere ad una connessione internet di sviluppare modelli, testare algoritmi e contribuire a progetti di Intelligenza Artificiale. Per questi motivi, questa componente è globalizzata, resiliente e si nutre della creatività e delle competenze di attori provenienti da tutto il mondo.

L'hardware per l'IA, invece, può essere visto come una sorta di spina dorsale in quanto comprende tutti quei componenti fisici sviluppati per compiere operazioni di apprendimento automatico e inferenza in modo efficiente. Questi sono essenziali per realizzare concretamente i modelli. Tra questi vi sono le CPU, GPU e ASIC che verranno approfondite in seguito. L'obiettivo di questa componente è ottenere grandi prestazioni con consumi contenuti durante la gestione di un grande volume di dati e l'esecuzione di calcoli in parallelo.

Tradizionalmente venivano utilizzate le CPU (Central Processing Unit), che possono essere brevemente definite come i normali processori dei computer, le quali pur essendo molto flessibili non erano l'ideale per gestire calcoli paralleli su larga scala. In questo contesto si sono affermate le GPU (Graphics Processing Unit) che sono in grado di elaborare in parallelo migliaia di operazioni e, per questo motivo, si rivelano ideali per l'addestramento di reti neurali profonde.

Contrariamente alla componente software, quella hardware è altamente centralizzata, costosa nonché sensibile a fattori di livello geopolitico. Di fatto si tratta di una risorsa strategica globale nelle mani di pochissimi attori strettamente tenuti sotto osservazione a livello governativo. In questo contesto l'azienda statunitense NVIDIA domina il merca-

to con oltre l'80% delle GPU (Graphics Processing Unit) necessarie al training IA. La produzione fisica dei chip avanzati, invece, è prettamente concentrata a Taiwan (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company; TSMC) e in Corea del Sud (Samsung). Come vedremo in seguito, la filiera di chip è estremamente lunga e complessa; coinvolge gli Stati Uniti per quanto riguarda la componente di design, ricerca e sviluppo, Taiwan e la Corea del Sud per quanto riguarda la concreta fabbricazione, i Paesi Bassi per la fabbricazione di macchinari a litografia e il Giappone per l'approvvigionamento dei materiali. L'hardware è ormai considerato come un *dual-use* civile e militare e per questo motivo è soggetto a controllo strategico, come lo era il petrolio durante la Guerra Fredda.

Il paradosso dell'IA che vede libertà nella componente software e dipendenza in quella hardware crea un'asimmetria strutturale. Se da un lato tutti possono scrivere codici IA, dall'altro pochissimi possono farlo su larga scala in quanto occorre avere accesso a GPU (Graphics Processing Unit) e infrastrutture da milioni, se non miliardi, di dollari che sono a loro volta soggette a restrizioni. Questa asimmetria crea un rischio di dipendenza tecnologica in quanto pur avendo le conoscenze non è scontato avere anche gli strumenti per usarle su larga scala.

Anche per questi motivi l'Unione Europea tramite iniziative come l'European Chips Act¹¹ sta cercando di costruire una filiera autonoma di semiconduttori. D'altro canto, però, raggiungere un volume di produzione e di competenza simile a TSMC o NVIDIA necessita di decenni di investimenti e di uno specifico know-how, ormai quasi irraggiungibile.

Il software continuerà probabilmente a rimanere aperto anche se per essere davvero utile necessita di un'infrastruttura hardware solida e stabile. Finché il cuore computazionale rimarrà nelle mani di pochi attori, il potenziale dell'IA non sarà puramente condizionato dall'inventiva umana bensì anche dalla geopolitica.¹²

¹¹ European Commission, *Second in-depth review of strategic areas for Europe's interests*, European Commission, 2022.

¹² Miller, C. (2022). *Chip War: la sfida tra Cina e USA per il controllo della tecnologia che deciderà il nostro futuro*. (Milano: Mondadori, 2022), pp.10-30.

L'interdipendenza tra componente software e hardware si traduce in un processo di co-evoluzione in quanto l'avanzamento degli algoritmi promuove lo sviluppo di hardware più potente ed efficiente. Allo stesso modo l'introduzione di nuovi chip ad alte prestazioni consente lo sviluppo di nuovi modelli IA sempre più complessi. D'altro canto, però, questo circolo virtuoso potrebbe velocemente divenire vizioso per quegli attori che non detengono l'accesso alle risorse hardware necessarie, enfatizzando il divario tecnologico per molti versi già presente.

Inoltre, l'hardware, essendo una risorsa critica, si pone al centro di una vera e propria competizione geopolitica in quanto gli Stati Uniti, consapevoli della loro rilevanza strategica, hanno introdotto pesanti restrizioni all'esportazione delle GPU avanzate verso la Cina con il fine ultimo di limitare le capacità di questa di sviluppare le sue competenze nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale e del calcolo ad alte prestazioni¹³. In questo contesto, quindi, la componente hardware diviene una leva strategica volta ad influenzare l'economia e l'equilibrio politico internazionale.

La cosiddetta Edge AI è una possibile e promettente risposta alla dipendenza dall'hardware centralizzato. Si tratta di modelli di Intelligenza Artificiale pensati per essere eseguiti direttamente su dispositivi periferici come droni, smartphone, sensori e automobili. Sempre guardando al futuro, si stanno esplorando negli ultimi anni approcci innovativi alla questione come il calcolo quantistico e i chip neuromorfici, ispirati al funzionamento del cervello umano.

Questi nuovi approcci potrebbero ridefinire il rapporto tra hardware e software in maniera profonda. Il futuro dell'Intelligenza Artificiale non è determinato solamente da una corsa alla potenza ma anche da un percorso che mira all'efficienza, all'accessibilità e alla distribuzione delle risorse computazionali.

In altre parole, la crescita dell'IA dipende dall'equilibrio delicato tra queste due componenti che, seppur apparentemente opposte sono in realtà strettamente connesse. La maggiore sfida dei prossimi anni è riuscire a garantire un accesso equo alle risorse computazionali in quanto, è solo affrontando questa asimmetria che diverrà possibile

¹³ New York Post, *Trump Officials Urge Allies to Limit Chip Exports to China: Report*, NYPost.com, 25 febbraio 2025.

creare un sistema inclusivo, sostenibile e democratico nel quale vi sia spazio per un'innovazione che non sia determinata solamente dalla disponibilità del silicio ma anche dalla creatività e dalla cooperazione globale.

2.3. La rivalità nel mercato domestico statunitense

Nonostante gli Stati Uniti vengano generalmente percepiti come un unico blocco compatto nella corsa globale all'Intelligenza Artificiale, è opportuno rilevare come al loro interno si stia sviluppando una frammentazione ed una intensa competizione strategica; anche se meno conflittuale rispetto al confronto con la Cina. L'azienda leader in questo scenario è OpenAI. Essa, con ChatGPT, è l'apripista nello sviluppo dei Large Language Models (LLM) ed è sostenuta da Microsoft. Questa, infatti, ne ha integrato i modelli all'interno della propria linea di prodotti. D'altra parte, la leadership di quest'azienda risulta ad oggi messa alla prova da una moltitudine di attori statunitensi. Tra questi vi sono le imprese Big Tech ma anche realtà open source e figure imprenditoriali con visioni divergenti. Ad esempio, Google ha lanciato, il già noto come Bard, Gemini. Questa è una piattaforma IA multimodale integrata nell'ecosistema Android e Workspace. Inoltre, sempre Google, ha sostenuto anche Anthropic, una startup creata da ricercatori che in precedenza hanno lavorato per Open AI.¹⁴ Quest'ultima è nota per lo sviluppo di Claude, un modello di Intelligenza Artificiale generativa che compete con ChatGPT. Un altro importante protagonista è Elon Musk. Dopo essersi distaccato da Open AI, di cui è stato co-fondatore, egli ha creato xAI con l'intento di dare una visione alternativa orientata in misura maggiore all'open source e al controllo etico. Il suo modello Grok, il quale è già stato integrato nella piattaforma X, si pone l'obiettivo di rappresentare una sintesi tra umorismo, libertà espressiva e reattività.

Allo stesso tempo, il mondo open source è emerso come una forza destabilizzante dello status quo. Vi sono progetti che stanno abbattendo la barriera posta all'ingresso

¹⁴ Venture Beat, *Google invests \$300 million in Anthropic as race to compete with ChatGPT heats up*, Venturebeat.com, 3 febbraio 2023.

nello sviluppo di IA avanzate. Tra questi LLaMA di Meta, Mistral e vari fork distribuiti su piattaforme come Hugging Face. Questi modelli, anche se non sempre allo stesso livello dei concorrenti, offrono trasparenza, flessibilità e sovranità tecnologica soprattutto agli enti pubblici o ai piccoli Stati che vogliono adottare soluzioni autonome.

Questa competizione interna agli Stati Uniti, pur non configurandosi come una guerra commerciale diretta, rappresenta un confronto tra differenti paradigmi di sviluppo. Se da una parte vi sono piattaforme chiuse, integrate e con forti implicazioni di mercato e governance, dall'altra vi sono iniziative decentralizzate, accessibili e spesso mosse da una visione etica o accademica. Ciò comporta importanti ripercussioni anche a livello internazionale: le scelte statunitensi influenzeranno direttamente l'equilibrio tra innovazione, controllo e democrazia digitale. La coesistenza e la rivalità tra questi attori contribuiscono a rendere il panorama statunitense tra i più fertili e dinamici nel contesto della corsa globale all'Intelligenza Artificiale, sebbene al tempo stesso anche tra i più instabili. Non solo all'esterno, anche all'interno dei confini nazionali, quindi, si combatte una battaglia narrativa, tecnica ed etica.

La dicotomia tra approccio open source e closed source non è priva di rischi e potenziali problematiche sia per gli Stati Uniti sia per l'intera comunità internazionale. I modelli closed source, come quelli creati da OpenAI e Google, fanno sì che vi sia un maggiore controllo da parte delle aziende produttrici in termini di sicurezza e in relazione alla governance degli algoritmi. Il controllo centralizzato può rappresentare una utile barriera agli utilizzi impropri e potenzialmente pericolosi dell'Intelligenza Artificiale; soprattutto in contesti particolarmente sensibili come la sicurezza nazionale, la sanità o la disinformazione pubblica. Per contro, però, sempre questa chiusura apre importanti interrogativi riguardo alla trasparenza dei sistemi, alla possibilità di auditing indipendente e al rischio di concentrazione del potere tecnologico nelle mani di pochissimi attori privati. Questi, infatti, diverrebbero capaci di orientare il dibattito pubblico, di influenzare le politiche e di modellare le infrastrutture cognitive delle società moderne.

I modelli open source, pur offrendo una maggiore accessibilità, flessibilità e promuovendo la sovranità digitale, possono essere utilizzati più facilmente da attori malevoli quali, ad esempio, gruppi terroristici e regimi autoritari o a supporto di campagne di disinformazione politica e pubblica organizzata. La libertà di utilizzo, importante prerogativa dell'etica open, rappresenta al tempo stesso anche un punto critico in assenza di strumenti adeguati di monitoraggio. La possibilità di personalizzazione di un modello open source fa sì che sia molto difficile tracciarne la diffusione o prevenirne l'utilizzo dannoso su larga scala come, ad esempio, nella produzione di deepfake, spam automatizzato e frodi.

In prospettiva geopolitica, la tensione tra apertura e controllo è il riflesso di una divergenza di visioni riguardo l'ordine tecnologico globale. Se da un lato vi è l'idea di cyberspazio aperto e operativo, dall'altra vi è un modello centralizzato maggiormente sicuro seppur potenzialmente più autoritario. Questa frattura è enfatizzata anche dalle strategie adottate dagli stati. Se alcuni, come Stati Uniti e gli stati dell'Unione Europea¹⁵, si orientano verso il tentativo di una regolamentazione precisa e attenta dell'IA, altri potrebbero bypassare le sanzioni e accelerare la corsa agli armamenti cognitivi o consolidare regimi repressivi.

In questi termini, la frammentazione interna presente nel panorama statunitense rappresenta una questione cruciale per l'intera umanità e non solamente un fenomeno industriale o tecnologico. Le modalità attraverso le quali vengono regolamentati e governati i modelli IA, se aperti o chiusi, controllati o distribuiti, sarà determinante nel plasmare il tipo di società nella quale vivremo, l'accesso equo alla conoscenza, la qualità della democrazia e la capacità collettiva di affrontare importanti sfide globali come quella dell'imminente cambiamento climatico, delle possibili pandemie o della sicurezza digitale. La battaglia tecnologica in atto all'interno del territorio statunitense rappresenta un microcosmo delle tensioni che, invece, attraversano l'intero pianeta.

¹⁵ European Commission, *Second in-depth review of strategic areas for Europe's interests*, European Commission, 2022.

2.4. Il cambio di paradigma: dagli anni '90 ai 2000

La caduta del Muro di Berlino nel 1989 e la dissoluzione dell'Unione Sovietica del 1991 hanno segnato l'inizio di una nuova era di integrazione economica globale. Negli anni successivi alla fine della Guerra Fredda si vide un'importante espansione del libero mercato e vi fu un generale aumento del commercio mondiale nonché una maggiore adozione di politiche neoliberiste in molte nazioni. Vi fu una liberalizzazione degli scambi commerciali e dei movimenti di capitali. In questo contesto si inquadrano gli anni '90 i quali furono caratterizzati da una cospicua accelerazione dell'innovazione tecnologica. Il settore delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione è stato quello maggiormente colpito da questa ondata innovativa. La diffusione di internet e la nascita del World Wide Web nel 1991 consentirono un'ulteriore rivoluzione nel campo della comunicazione globale in quanto divenne possibile abbattere le barriere geografiche e temporali. Il mondo sembrava avviarsi verso una nuova dimensione unipolare dominata dagli Stati Uniti e dal neoliberalismo. Di conseguenza la globalizzazione non rappresentava solamente un processo economico ma anche una vera e propria visione ideologica che vedeva la liberalizzazione degli scambi e la diffusione sistemica della democrazia come un percorso obbligato a beneficio di tutti. L'abbattimento di queste barriere consentì una maggiore interconnessione tra le economie mondiali facilitando anche la diffusione delle informazioni e delle conoscenze. Negli anni a seguire il commercio mondiale ha visto una crescita senza precedenti: le esportazioni mondiali sono passate dal 8,5% del PIL globale nel 1970 al 16,2% nel 2001. Questo incremento è stato possibile grazie, oltre che al generale clima di fiducia nel progresso, alla liberalizzazione dei mercati e alla spinta dell'Organizzazione Mondiale del Commercio (OMC, o WTO) per la riduzione delle barriere commerciali.

In sostanza la globalizzazione e l'innovazione tecnologica, che è stata protagonista degli anni '90, ha portato ad una maggiore crescita economica a livello mondiale. Tuttavia, non è trascurabile il fatto che vi siano crescenti preoccupazioni riguardo all'incremento della disuguaglianza economica tra gli stati e alla progressiva riduzione dei posti di lavoro in alcuni settori a causa della frequente e progressiva delocalizzazione della

produzione e dell'espansione dell'automazione. La diffusione delle catene globali del valore e lo spostamento della produzione verso paesi dove il costo della manodopera è inferiore hanno permesso una forte contrazione dei costi di produzione per le imprese occidentali. Grazie ai minori costi, le imprese sono riuscite ad aumentare i loro margini di profitto in modo sensibile e, quindi, hanno contribuito all'espansione del commercio internazionale. In questo contesto, le istituzioni internazionali come il Fondo Monetario Internazionale (FMI), la Banca Mondiale e l'Organizzazione Mondiale del Commercio hanno promosso un modello di apertura e interdipendenza che si è consolidato in modo piuttosto stabile.

D'altro canto, però, le stesse dinamiche che hanno alimentato l'ottimismo degli anni '90, negli anni successivi iniziarono a generare tensioni. La sempre maggiore dipendenza da forniture estere, l'ascesa economica e politica di potenze non occidentali e l'uso strategico delle tecnologie iniziarono pian piano a sgretolare quella fiducia globale alimentando una nuova fase di competizione e frammentazione. In questo senso, gli anni 2000 vedettero emergere la Cina come un attore globale non più trascurabile. L'ingresso nella Cina nell'Organizzazione Mondiale del Commercio ha segnato un cambiamento importante in quanto ciò ha dato un ulteriore impulso al suo sviluppo economico attirando investimenti diretti stranieri e accelerando le sue esportazioni. Il PIL cinese, infatti, è cresciuto circa del 10% annuo tra il 2000 e il 2011.¹⁶ La Cina, con la strategia "Going Global" ha iniziato ad incoraggiare le sue imprese ad investire all'estero. L'obiettivo era di acquisire tecnologie e risorse naturali in Africa, Sud America ed Europa. Inoltre, l'Esercito Popolare di Liberazione ha visto un drastico aumento del proprio budget. Questo, infatti, è passato dai 20 miliardi di dollari del 2000 ai 100 miliardi di dollari del 2010¹⁷.

La prima risposta americana all'avanzata cinese va ricercata nella "Dottrina della guerra preventiva" del 2002. Con questa strategia George W. Bush inaugurò un nuovo atteggiamento americano volto al mantenimento della superiorità globale statunitense. Di conseguenza, Washington mirò ad un rafforzamento delle alleanze in Asia e nel Paci-

¹⁶ World Bank, *GDP growth (annual %)*, IMF data.

¹⁷ Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), *SIPRI Military Expenditure Database*.

fico aumentando in maniera significativa i rapporti con Giappone, Corea del Sud e India. Inoltre, iniziò a prendere forma un maggior controllo delle catene del valore e della proprietà intellettuale. È importante in questo contesto tenere in considerazione il fatto che il disavanzo commerciale statunitense con la Cina è aumentato sensibilmente: nel 2001 si trattava di 80 miliardi di dollari mentre nel 2010 è cresciuto ad oltre 270 miliardi¹⁸. Questi dati sono importanti in quanto evidenziano una forte e crescente dipendenza americana dai beni cinesi.

Negli anni 2000, quindi, si è andato configurando un nuovo ordine mondiale competitivo nel quale la Cina si è affermata come nuova ed emergente potenza revisionista, pronta a ridefinire le regole del gioco internazionale. Dal canto loro gli Stati Uniti cominciarono a percepire la Cina non più come un mero partner commerciale ma come un rivale strategico ed economico da combattere. La conseguenza di tutto ciò è stata un'intensificazione delle tensioni sul fronte tecnologico, militare ed ideologico.

Uno dei pilastri della nuova competizione geopolitica globale del XXI secolo è da ricercarsi nel controllo della tecnologia.¹⁹ Questo, infatti, ha assunto un'importanza cruciale in quanto le tecnologie emergenti non sono più viste come mero strumento di progresso economico bensì come asset strategici capaci di determinare l'equilibrio dei poteri internazionali e di influenzare la sicurezza nazionale.²⁰

Già a partire dal secondo dopoguerra le tecnologie militari e informatiche hanno rivestito un importante ruolo nel modellare il nuovo ordine mondiale. Ciononostante, è soltanto nel periodo successivo che si vide un'esponentiale accelerazione della digitalizzazione e l'emergere di settori come quello dell'Intelligenza Artificiale, quello del quantum computing, quello dei semiconduttori avanzati, delle biotecnologie, del 5G, 6G e della cybersicurezza i quali hanno trasformato il paradigma rendendo la supremazia scientifica e tecnologica sinonimo di supremazia geopolitica.

¹⁸ U.S. Census Bureau, *Trade in Goods with China*.

¹⁹ Rai News, *Semiconduttori: il nostro futuro (e quello dell'Europa) dipende da un chip*, RaiNews.it, 2022.

²⁰ Miller, C. (2022). *Chip War: la sfida tra Cina e USA per il controllo della tecnologia che deciderà il nostro futuro*, pp.10-30.

Infatti, gli attori che riescono a controllare queste scienze e queste tecnologie acquisiscono un grande vantaggio competitivo dal punto di vista economico e acquisiscono anche la capacità di controllare flussi informativi e di influenzare le opinioni pubbliche. Talvolta riescono anche a modellare le infrastrutture critiche e a condurre guerre ibride.

Il caso più rappresentativo di questa trasformazione va ricercato in Cina. Dopo decenni di crescita determinata dalla produzione a basso costo e dall'integrazione nelle catene globali del valore, la "tigre asiatica" ha avviato un ambizioso processo di trasformazione della propria economia con l'obiettivo di divenire leader globale nell'innovazione scientifica e tecnologica. In questo contesto spiccano due piani promossi da Pechino: "Made in China 2025"²¹, che approfondiremo in seguito, e il programma "Going Global", nominato in precedenza, che si pone come obiettivo quello di acquisire competenze, tecnologie e materie prime strategiche all'estero grazie agli investimenti di imprese nazionali, molto spesso di proprietà statale.

La crescente importanza del ruolo cinese ha comportato una forte reazione americana; soprattutto a partire dal 2018, con l'insediamento della prima amministrazione Trump, la quale ha avviato una vera e propria "guerra tecnologica" con l'obiettivo di contenere l'ascesa cinese e di preservare il ruolo trainante degli Stati Uniti nel settore scientifico e tecnologico. Tra le principali misure intraprese va menzionato innanzitutto l'inserimento di Huawei e altre aziende cinesi nella "Entry List" del Dipartimento del Commercio e contemporaneamente vietando la vendita da parte di aziende americane di componenti critici ai cinesi. Attraverso la campagna "Clean Network" è stato, inoltre, istituito un divieto di utilizzo delle infrastrutture di Huawei nelle reti 5G nei paesi alleati. Vi sono stati, poi, un rafforzamento dei controlli sugli investimenti esteri e sulle esportazioni di tecnologie sensibili, nonché il lancio di iniziative pubbliche di investimento in settori critici, come il "CHIPS and Science Act del 2022".

Questa linea dura di restrizioni è stata mantenuta anche sotto all'amministrazione Biden con una convergenza politica di opinioni sul fatto che la sfida con la Cina sia da considerarsi strutturale e di lungo periodo.

²¹ Geopolitica.info, *Europa-Cina. La sfida industriale di "Made in China 2025"*, Geopolitica.info, 2024.

Il campo dei semiconduttori rappresenta tra tutti i settori scientifici e tecnologici la vera arena di scontro. I microchip oggi sono il fondamento dell'intera infrastruttura digitale globale. Il dominio di questo campo rappresenta un'esigenza primaria non solo per quanto concerne la tecnologia civile ma, soprattutto, per quella militare. ²²È esattamente per questo motivo che il blocco americano delle esportazioni di Chip AI verso la Cina è stato definito come l'equivalente tecnologico di un embargo strategico²³. Un altro campo di battaglia è riscontrabile nel controllo degli standard tecnologici internazionali in quanto chi ha il potere di stabilire gli standard è anche in grado di orientare il mercato globale e di rafforzare la propria influenza normativa.

In tutta questa situazione, l'Unione Europea ha progressivamente cercato di cambiare il suo ruolo di spettatrice nella competizione sino-americana varando una serie di provvedimenti che si pongono l'obiettivo di ridurre la dipendenza da fornitori esterni e di promuovere la ricerca interna nonché di rafforzare il controllo delle infrastrutture digitali. Pur rimanendo ancora indietro in molti ambiti rispetto a Stati Uniti e Cina, è apprezzabile la progressiva acquisizione di consapevolezza europea della propria vulnerabilità tecnologica; soprattutto nel corso della pandemia da Covid 2019 e con lo scoppio della guerra in Ucraina in quanto queste occasioni hanno consentito un'ulteriore e forte spinta alla presa di coscienza sull'importanza della sovranità tecnologica.

Chi saprà dominare i settori chiave sarà in grado di definire le regole del nuovo ordine mondiale che sta via via prendendo forma sotto ai nostri occhi. La posta in gioco non è meramente economica bensì politica sociale, culturale e soprattutto strategica. Per questi motivi, il futuro delle relazioni internazionali e dell'equilibrio mondiale è plasmato proprio da questa nuova corsa al controllo scientifico e tecnologico.

²² Miller, C. (2022). *Chip War: la sfida tra Cina e USA per il controllo della tecnologia che deciderà il nostro futuro*. (Milano: Mondadori, 2022) pp. 15-20.

²³ Don Weinland, 'The tech war between America and China is just getting started', *The Economist*, 18 novembre 2022.

3. Il Controllo dell'hardware

3.1. La centralità dei semiconduttori nell'IA

La scoperta scientifica che ha maggiormente influito nel progresso tecnologico in atto ha sicuramente a che fare con il silicio e con i semiconduttori in generale. Grazie ad essi ha avuto inizio l'elettronica a stato solido che ha reso possibile la progettazione e lo sviluppo dell'*hardware* informatico contemporaneo, il quale rappresenta un necessario strumento per la rivoluzione tecnologica. Questo ha permesso l'invenzione e la realizzazione dei moderni calcolatori, la memorizzazione e l'elaborazione di quantità enormi di dati e il trasporto di informazioni con fibre ottiche.

Il viaggio della rivoluzione tecnologica parte dai semiconduttori e ha inizio nel 1874 quando Ferdinand Braun scoprì la conduzione asimmetrica nei cristalli di solfuro di piombo. Tuttavia, è solo agli inizi del novecento che si iniziarono a studiare le proprietà del silicio e del germanio. Nel 1947 i fisici di Bell Labs²⁴ inventarono il transistor che permise la sostituzione delle vecchie ed ingombranti valvole termoioniche. Già negli anni '50 e '60, grazie agli studi di Jack Kilby e Robert Noyce, nacquero i primi circuiti integrati e si riuscì ad avvicinarsi sempre di più alla miniaturizzazione elettronica. Negli anni '70 INTEL²⁵ sviluppò il primo microprocessore (Intel 4004) ma è solo negli anni '80 -'90 che si assistette al vero e proprio boom dei personal computer e dell'elettronica di consumo. Ai giorni nostri i semiconduttori sono divenuti essenziali per la produzione di innumerevoli prodotti di uso comune, come personal computer, smartphone e auto elettriche. ²⁶ I semiconduttori rappresentano anche l'elemento fondante a partire dal quale sono stati sviluppati tutti i componenti chiave dell'infrastruttura che sta alle spalle

²⁴ I Bell Labs sono un centro di ricerca e sviluppo fondato nel 1925 in New Jersey, USA. Nel corso della storia, i lavori e le ricerche svolte nei laboratori portarono a sette premi Nobel. Attualmente il centro di ricerca è di proprietà di Nokia.

²⁵ INTEL è un'azienda multinazionale statunitense fondata nel 1968 in California. Produce dispositivi a semiconduttore, microprocessori e molti altri circuiti integrati. Svolge sia la fase di sviluppo e progettazione che la fase propriamente di costruzione.

²⁶ Harari, Y. N. (2024). *Nexus: breve storia delle reti di informazione dall'età della pietra all'IA, cap. 1 e 2.*

dell'Intelligenza Artificiale. Per questo motivo saranno i protagonisti, e spesso la causa, di non poche tensioni geopolitiche.

Andando nello specifico, in fisica un semiconduttore è una sostanza solida che ha delle caratteristiche di conduzione elettrica intermedie tra quelle dei conduttori e quelle degli isolanti. Contrariamente a quanto accade ai conduttori, nei semiconduttori all'aumentare della temperatura aumenta anche la conduttività. La caratteristica peculiare di condurre elettricità a livelli intermedi rispetto a un materiale conduttore o isolante li rende il materiale ideale per l'evoluzione dell'elettronica. Essi sono infatti alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici a stato solido quali transistor²⁷, diodi²⁸ e diodi ad emissione luminosa (LED)²⁹.

Oltre alla diminuzione della resistività all'aumentare della temperatura, altre caratteristiche dei semiconduttori sono la fotoconduzione, l'effetto fotovoltaico e la rettificazione nelle giunzioni con metalli.

Con fotoconduzione intendiamo la proprietà di alcune sostanze solide di cambiare la loro conduttività elettrica in base alla quantità di luce che ricevono. L'effetto fotovoltaico, invece, è il principio fondamentale alla base delle tecnologie per l'energia rinnovabile ed è il fenomeno fisico che avviene quando un materiale semiconduttore assorbe fotoni e libera elettroni generando corrente elettrica. Ciò avviene grazie alla presenza di un campo elettrico interno al materiale che viene generalmente creato grazie ad una giunzione tra due strati di semiconduttori con differenti drogaggi.

In fase di produzione il passaggio fondamentale che determina le proprietà di tali materiali è il drogaggio, il quale è in grado di modificare sensibilmente la resistività elettrica a parità di temperatura. Questo processo consiste nell'introduzione di piccolissime quantità controllate di atomi estranei in un cristallo di semiconduttore puro al fine di

²⁷ Il transistor funziona come un interruttore: permette o impedisce il transito della corrente all'interno del circuito elettrico.

²⁸ Il diodo semplice è un semiconduttore che funziona come un interruttore unidirezionale della corrente e consente alla corrente di circolare verso un'unica direzione impedendone la circolazione nella direzione opposta.

²⁹ Il diodo ad emissione luminosa (LED) è un dispositivo che emette luce visibile nel momento in cui la corrente elettrica vi passa attraverso.

alterarne le proprietà elettriche. Questo procedimento permette di aumentare la conducibilità elettrica. Un drogaggio particolarmente elevato, ad esempio, può far sì che il semiconduttore assuma proprietà elettriche simili a quelle di un metallo, viceversa un drogaggio lieve avvicina le proprietà del materiale a quelle di un isolante. È importante ricordare, però, che la quantità di elementi aggiunti per effettuare il drogaggio è bassissima: sono impurità elettroniche e in quanto tali sono in grado di modificare le proprietà elettroniche ma non sono in grado di modificare le proprietà chimiche del semiconduttore.

Se consideriamo lo sviluppo delle moderne tecnologie come una piramide dove alla base si trovano gli elementi chiave che compongono l'hardware, mentre all'apice ci sono le applicazioni finali, possiamo affermare che i semiconduttori ne costituiscono le fondamenta e siano, quindi, essenziali per tutti gli strumenti elettronici e informatici che conosciamo. Il vertice di questa piramide può essere, invece, identificato nell'Intelligenza Artificiale. L'importanza dei semiconduttori nell'ambito dell'IA è inestimabile e penetra ogni singola fase del ciclo di vita di questa nuova tecnologia: dalla fase di ricerca e sviluppo passando per la fase dell'apprendimento sino alla fase dell'implementazione finale. Quando si parla di Intelligenza Artificiale non si può non considerare l'importanza dei semiconduttori in quanto essi consentono lo sviluppo di un hardware specifico utile a garantire la potenza di calcolo necessaria ad implementare algoritmi complessi di apprendimento automatico e Deep Learning.

Per comprendere il funzionamento dell'Intelligenza Artificiale, è necessario prima approfondire alcuni elementi di base: cosa intendiamo per CPU (Central Processing Unit), GPU (Graphic Processing Unit) e ASIC (Application-Specific Integrate Circuit).

1. La CPU (Central Processing Unit) è un componente hardware che rappresenta l'unità computazionale principale di un computer e che, elaborando i segnali, rende possibile il calcolo. Gestisce operazioni logiche, matematiche e di controllo agendo come un "cervello" in qualsiasi dispositivo informatico.

2. La GPU (Graphic Processing Unit) è un'unità di elaborazione specializzata nella progettazione grafica e nel rendering delle immagini e, grazie alla sua architettura parallela, è in grado di eseguire calcoli ripetitivi e simultanei che sono fondamentali per le applicazioni di Intelligenza Artificiale.
3. Gli ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) sono circuiti integrati che, contrariamente alle CPU e GPU che sono generaliste, vengono progettati per svolgere compiti specifici e sono dunque utilizzati in tutte quelle applicazioni che richiedono massima efficienza. Tutte queste unità di elaborazione sono fondamentali nell'Intelligenza Artificiale sebbene con utilizzi e prestazioni differenti.³⁰ Le CPU vengono utilizzate principalmente per la gestione delle attività sequenziali e per l'esecuzione di modelli di Machine Learning (ML) su scala ridotta ma non sono ottimali per gli intensivi calcoli richiesti dalle reti neurali³¹ profonde. Grazie alla loro architettura parallela, le GPU velocizzano l'allenamento e l'inferenza dei modelli di Deep Learning e riescono ad eseguire simultaneamente milioni di operazioni matematiche essenziali per l'addestramento delle reti neurali. Infine gli ASIC personalizzati per l'uso nell'IA vengono utilizzati in applicazioni specifiche come il riconoscimento vocale e l'elaborazione di immagini. Offrono delle prestazioni superiori usufruendo di un consumo energetico inferiore rispetto alle GPU.

Sostanzialmente, le CPU gestiscono il controllo logico, le GPU accelerano il calcolo parallelo e gli ASIC vengono progettati di volta in volta per delle applicazioni altamente specializzate.

Per lo sviluppo dei modelli di IA si predilige l'utilizzo delle GPU che sono uno strumento molto potente e flessibile ma al contempo molto energivoro. Al completamento dello sviluppo, prima di distribuire l'applicativo finale, potrebbe essere utile progettare un dispositivo specifico che esegua il modello con un inferiore dispiegamento di risorse. In questa fase si utilizzano gli ASIC che sono in grado di svolgere un singolo compito ma in modo molto efficiente.

³⁰ Miller, C. (2022). *Chip War: la sfida tra Cina e USA per il controllo della tecnologia che deciderà il nostro futuro*, pp.13-23.

³¹ Una rete neurale artificiale è un modello computazionale composto da "neuroni" artificiali il quale è ispirato vagamente alla semplificazione di una rete neurale biologica. Imita il cervello umano per riconoscere schemi e prendere decisioni.

Le CPU e le GPU hanno un processo produttivo molto simile. Le CPU esistono dagli anni '40 con l'arrivo dei primi computer anche se, intese sotto forma di microprocessori, sono nate formalmente nel 1971 con l'Intel 4004. Esse seguivano le leggi formulate nel 1965 da Gordon Moore³² il quale riteneva che il numero di transistor contenuto nei microprocessori raddoppiasse circa ogni due anni riuscendo, quindi, ad aumentare la potenza di calcolo e a ridurre i costi. La legge di Moore ha guidato lo sviluppo delle CPU per decenni portando progressivamente ad una maggiore potenza e velocità di elaborazione, una miniaturizzazione dei transistor, alla sensibile riduzione dei consumi energetici e all'aumento dell'efficienza dei chip.

D'altro canto la legge di Moore, pur essendo stata la più grande profezia del secolo, inizia a divenire di difficile applicazione a causa dei limiti fisici della miniaturizzazione dei transistor. Al fine di continuare a migliorare le prestazioni potrebbe essere necessario, quindi, rivolgere lo sguardo altrove come, ad esempio, verso l'architettura multicore, l'AI accelerator e il chipset design.

Essendo i processi di miniaturizzazione dei transistor molto complicati e costosi, la produzione di chip si è via via andata concentrando nelle mani di pochi attori principali in competizione tra loro. Attualmente i principali produttori di microchip avanzati sono l'americana INTEL, la taiwanese TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) e la coreana Samsung. Tra questi player si distingue TSMC in quanto è l'unica azienda in grado di produrre chip con la tecnologia più avanzata richiesta in tutte le applicazioni ad alto carico odierno come l'Intelligenza Artificiale.

In altre parole: minori sono le dimensioni dei transistor maggiore è la capacità di calcolo del prodotto e TSMC è l'azienda che produce il processo tecnologico che consente il maggiore grado di miniaturizzazione e integrazione..

Quando ci riferiamo all'Intelligenza Artificiale dobbiamo considerare una pluralità di attori. Come abbiamo accennato, la taiwanese TSMC è l'attore più importante in quanto produce ben nove su dieci dei chip più avanzati al mondo. Tuttavia, non è la sola ad

³² Gordon Moore è stato il co-fondatore di INTEL.

avere un ruolo chiave: la fase della progettazione, ricerca e sviluppo viene svolta dall'americana NVIDIA e l'azienda olandese ASML (Advanced Semiconductor Materials Lithography) fornisce le macchine litografiche necessarie alla produzione.

NVIDIA, quindi, è il maggior player nello sviluppo di GPU ma la produzione dei chip da loro sviluppati è monopolizzata da TSMC in quanto essa è l'azienda che detiene il processo produttivo più avanzato.

Taiwan, dove ha sede TSMC, è uno stato nel pacifico occidentale fra il Giappone e le Filippine ed è un'isola strategicamente cruciale tanto per l'industria dei semiconduttori quanto per gli equilibri geopolitici globali. È quel luogo in cui produzione e innovazione tecnologica si intrecciano con le tensioni tra Cina e Stati Uniti in quanto l'isola, se pur rivendicata per ragioni storiche da Pechino, è tuttora sotto il braccio protettore di Washington. Il fatto che TSMC produca chip essenziali per aziende americane all'avanguardia come NVIDIA fa sì che quest'isola divenga sempre più rilevante negli scenari internazionali scatenando dinamiche di competizione e rivalità tra le grandi potenze.

NVIDIA Corporation è un'azienda statunitense nata nel 1993 in California i cui fondatori sono Jensen Huang, Chris Malachowsky e Curtis Priem.³³ Sin dai suoi esordi, quest'azienda si è imposta come uno dei principali attori nel settore delle unità di elaborazione grafica (GPU) e ha rivoluzionato profondamente il mondo del gaming, della grafica professionale e dell'Intelligenza Artificiale.

Pur essendo un'azienda americana, NVIDIA è costretta a delocalizzare la produzione dei chip che progetta a Taiwan e ciò comporta delle serie criticità legate a fattori internazionali come rischi fiscali e regolatori, dazi e tariffe doganali, barriere tariffarie e non tariffarie.³⁴ Questa esposizione a possibili interruzioni della catena di fornitura sottolinea ancora una volta l'importanza strategica della diversificazione della produzione. Ridurre al minimo la dipendenza da singoli fornitori consente di diminuire la vulnerabi-

³³ Corriere della Sera, *Nvidia, storia della società che vale di più al mondo: la nascita in un fast food, il fondatore che ha perso 70 miliardi di dollari e le altre curiosità*, Corriere.it, 2024.

³⁴ Aresu, A. (2023). *Geopolitica dell'Intelligenza Artificiale*. (Milano: Egea, 2023), cap.2 e 3.

lità che questa situazione di monopolio potrebbe creare in circostanze di inasprimento dei rapporti o di conflitti.

Nel 2004, le GPU sviluppate da NVIDIA avevano trovato impiego in 6 grandi aree di applicazione:

1. Visualizzazione e analisi dei dati: utile in quei settori nei quali la capacità di elaborare grandi quantità di informazioni è cruciale;
2. Simulazioni scientifiche;
3. Elaborazione di immagini e segnali;
4. Ricerca biomedica al fine di analizzare complesse interazioni molecolari;
5. Crittografia e sicurezza informatica
6. Astronomia e astrofisica dove venivano utilizzate per l'analisi di dati cosmologici complessi;³⁵

Alex Krizhevsky, pioniere dell'apprendimento autonomo, ha affermato “L'Intelligenza Artificiale è una sorta di obiettivo finale dell'informatica. L'informatica riguarda l'automazione delle cose, l'Intelligenza Artificiale riguarda l'automazione di tutto.” Questa visione è stata adottata da NVIDIA che, investendo moltissimo nello sviluppo e nella progettazione di hardware e software per il Deep Learning e l'Intelligenza Artificiale, ha fatto sì che vi fossero importanti innovazioni in settori come la guida autonoma, la robotica e la sanità.³⁶

NVIDIA, quindi, è un chiaro esempio di come innovazione tecnologica, geopolitica ed economia siano settori intersecati. La sua dipendenza dalla taiwanese TSMC e il ruolo centrale dei semiconduttori nella società moderna fanno sì che essa sia al centro di sfide e opportunità del XXI secolo.

³⁵ Aresu, A. (2023). *Geopolitica dell'Intelligenza Artificiale*. (Milano: Egea, 2023), cap.2.

³⁶ Aresu, A. (2022). *Il dominio del XXI secolo: Cina, Stati Uniti e la guerra invisibile sulla tecnologia*. (Milano: Feltrinelli, 2022), cap. 4.

3.2. Il caso Cina e Taiwan

Come abbiamo detto precedentemente, Taiwan ha assunto un ruolo sempre più cruciale nella produzione mondiale di chip e ad oggi ne produce oltre il 60% nei nodi tecnologici più scalati. I semiconduttori sono di fondamentale importanza per le tecnologie emergenti come l'Intelligenza Artificiale, il 5G e altre applicazioni militari avanzate. L'azienda taiwanese Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) è l'attore centrale di questa industria e ciò rende l'isola asiatica il nodo strategico più importante nella competizione tecnologica globale tra Stati Uniti e Cina.³⁷

La guerra commerciale tra Stati Uniti e Cina è scoppiata nel 2018 sotto la guida dell'amministrazione Trump. Inizialmente si prevedeva che questa avrebbe avuto un impatto negativo nell'industria dei semiconduttori di Taiwan. Tuttavia, l'elevata tariffa doganale imposta dagli Stati Uniti sulle esportazioni dei semiconduttori dalla Cina ha fatto sì che molti ordini siano stati trasferiti a Taiwan facendo così esplodere l'industria dei semiconduttori nell'isola.

Al fine di contenere l'avanzata cinese, gli Stati Uniti hanno introdotto il Chips and Science Act³⁸, il quale, concedendo importanti incentivi fiscali, mirava ad incentivare le principali aziende di chip nel mondo ad investire sul suolo statunitense. Lo scopo principale dell'atto era frenare l'avanzata cinese nel settore e alleggerire la pressione sugli Stati Uniti, spingendo le aziende di semiconduttori a schierarsi e a prendere posizione. Tutti i mercati mondiali, Stati Uniti compresi, hanno subito un forte shock quando le aziende cinesi di semiconduttori, tra cui la Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC), hanno affermato di essere in grado di sviluppare chip da 7nm senza servirsi di apparecchiature EUV³⁹. La preoccupazione generale fondava le sue radici

³⁷ Wang, J.-C., *The U.S.-China Technology War and Taiwan's Semiconductor Role in Geopolitics*, The Hague: Hague Centre for Strategic Studies, novembre 2023, pp. 3-4.

³⁸ Il CHIPS and Science Act è uno statuto federale degli Stati Uniti emanato dal 117° Congresso degli Stati Uniti e firmato dal presidente Joe Biden il 9 agosto 2022.

³⁹ Macchinari che sfruttano un fascio luminoso dell'estremo ultravioletto per incidere un wafer di silicio. L'unica azienda in grado di produrre questi macchinari è l'olandese ASML.

sul fatto che la generazione successiva fosse quella dei 5nm: essenziali driver per tecnologie come l'Intelligenza Artificiale, il 5G e i più sofisticati equipaggiamenti militari. Chiunque sia in grado di produrre chip da 3nm a 5nm sarà in vantaggio nell'area militare nei prossimi anni. Questo ha fatto sì che il controllo tecnologico degli Stati Uniti verso la Cina diventasse sempre più duro influenzando le industrie dei semiconduttori e comportando non pochi problemi per Taiwan. L'isola si ritrova ulteriormente intrappolata dato che la Cina risulta ancora essere uno dei mercati più importanti per le aziende taiwanesi.

L'isola è, quindi, al centro della rivalità tra Cina e Stati Uniti: questi ultimi vedono Taiwan come un partner fondamentale per contenimento della Cina e per la protezione dell'accesso ai semiconduttori avanzati, mentre la Cina considera Taiwan come una provincia ribelle e punta ad una riunificazione territoriale. L'invasione e sottomissione dell'isola darebbe a Pechino il controllo della catena produttiva mondiale dei semiconduttori e ciò potrebbe avere enormi ripercussioni sulla tecnologia e sulla sicurezza globale. L'invasione ed eventuale conquista cinese di Taiwan potrebbe avere effetti devastanti anche sull'economia internazionale in quanto diverrebbe possibile un blocco delle esportazioni dei semiconduttori che finirebbe per paralizzare interi settori tecnologici. Le tensioni tra Cina e USA potrebbero degenerare in una vera e propria escalation militare con effetti potenzialmente devastanti in quanto si tratta di due superpotenze nucleari. Infine, le aziende high-tech si troverebbero costrette a ripensare alle loro supply chains.

Per questi motivi Taiwan, pur non essendo riconosciuta come stato indipendente da nessuna superpotenza⁴⁰, è un punto nevralgico della geopolitica tecnologica ed è un attore di fondamentale importanza per l'equilibrio tecnologico ed economico mondiale. La sicurezza e la stabilità dell'isola non possono e non devono essere considerate meramente una questione regionale in quanto sono direttamente collegate intricate questioni globali.

⁴⁰Attualmente gli stati che riconoscono Taiwan sono 12: Belize, Guatemala, Haiti, Paraguay, Saint Kitts e Nevis, Saint Vincent e Grenadine, Isole Marshall, Palau, Tuvalu, Eswatini e la Santa Sede.

La rapida e travolgente avanzata cinese ha avuto inizio nel 2015 con l'introduzione da parte di Xi Jinping del piano decennale *Made in China 2025 (Mic-25)* volto a trasformare l'intero tessuto industriale del paese. La Cina, infatti, è conosciuta come "la fabbrica del mondo" ma la sua produzione è per la maggior parte ad alta intensità di manodopera, a basso valore aggiunto, ad alto consumo energetico e molto inquinante. Lo scopo del piano era far sì che la Cina modificasse il modo di produrre puntando alla qualità piuttosto che alla quantità. Questo piano rispecchia la volontà cinese di voler essere percepiti non solo come un grande paese ad alta intensità di manodopera ma come un grande paese ad alta intensità di manodopera di qualità, produttrice di beni di fascia elevata e all'avanguardia. La Cina non vuole più essere la grande imitatrice: vuole iniziare a sviluppare brand propri in grado di competere con i brand occidentali. Nel 2015 la Cina ha prodotto e/o assemblato il 28% delle automobili, l'80% dei computer, il 90% dei cellulari, l'80% dei condizionatori e il 50% dell'acciaio: l'obiettivo è quello di passare dal "Prodotto in Cina" al "prodotto dalla Cina".

I 10 settori chiave nei quali il governo cinese punta ad avere una posizione di leadership sono i seguenti:

1. Nuove tecnologie dell'informazione;
2. Strumenti di controllo numerico;
3. Aerospaziale e apparecchiature aeronautiche;
4. Apparecchiature marittime e logistica navale high-tech;
5. Macchinari per i trasporti ferroviari moderni;
6. Energia e veicoli rinnovabili;
7. Nuovi materiali;
8. Biopharma e prodotti medicali avanzati;
9. Macchinari agricoli;
10. Apparecchiature elettriche;

La Cina, quindi, ha intrapreso una serie di iniziative strategiche che mirano a modificare strutturalmente la produzione ma anche a ridurre la propria dipendenza dall'importazione di semiconduttori. I grandi investimenti cinesi nello sviluppo di nuove tecnolo-

gie dell'informazione, in nuove e più efficienti strumentazioni a controllo numerico, nella produzione di energia e nei nuovi materiali ci fanno intendere la volontà di questa nazione di raggiungere l'autosufficienza almeno parziale in questi settori; in particolare sul settore critico dei semiconduttori. Nel 2024 la Cina ha iniziato la terza fase del "big fund", anche conosciuto come "National Integrated Circuit Industry Investment Fund", con una dotazione di circa 47 miliardi di dollari provenienti da diversi investitori, tra cui il Ministero delle Finanze cinese e importanti istituti bancari nazionali. Questo fondo ha il fine ultimo di sostenere l'intero settore dei semiconduttori: dalla progettazione e produzione fino al collaudo e assemblaggio dei chip. Pur avendo fatto grandi passi nella giusta direzione, essa non è ancora riuscita ad ottenere l'autosufficienza completa e continua a dipendere da fonti esterne. Nonostante i grandi investimenti e le politiche aggressive, la Cina si trova ancora a dover affrontare enormi ostacoli nel settore dei semiconduttori. La società olandese ASML è l'unica in grado di produrre macchine di litografia EUV che sono essenziali nella produzione di chip all'avanguardia e la Cina non è ancora riuscita a sviluppare un'alternativa valida e, pertanto, dipende ancora da forniture straniere. Inoltre, la produzione di semiconduttori richiede anche gas neon, tungsteno e silicio di grado ultra-puro che sono in gran parte prodotti in Giappone e Corea del Sud i quali sottostanno alle restrizioni statunitensi anti-cinesi. Infine, il settore dei semiconduttori necessita di una manodopera altamente qualificata e la Cina presenta ancora delle serie difficoltà nel colmare il gap con gli Stati Uniti, Taiwan e Corea del Sud in settori come l'ingegneria dei materiali, la fisica quantistica e la microelettronica.

La Cina, però, sta adottando una serie di strategie per aggirare le restrizioni imposte dagli Stati Uniti e per sviluppare una propria e autonoma supply chain. Oltre al National Integrated Circuit Industry Fund (Big Fund) che sostiene l'industria nazionale dei semiconduttori, aziende cinesi come SMIC e Hua Hong stanno costruendo nuovi impianti che hanno il fine di incrementare la produzione di chip a 7nm e 14nm. Infine le aziende cinesi stanno provando a sviluppare sistemi di litografie DUV avanzati che mirano a costituire l'alternativa ai macchinari prodotti dalla olandese ASML.

Oltre agli investimenti interni, la Cina sta cercando di collaborare con i paesi minormente influenzati dagli Stati Uniti come Russia, Medio Oriente e Sud Est Asiatico. Per

esempio, dopo l'invasione dell'Ucraina, la Russia ha aumentato sensibilmente la cooperazione tecnologica e diplomatica con la Cina. Non sono trascurabili nemmeno l'utilizzo di società di investimento cinesi per acquisire aziende tecnologiche occidentali al fine di ottenerne (rubare) competenze e brevetti o il tentativo cinese di rendere le economie occidentali dipendenti dai prodotti cinesi e dalle materie prime da loro prodotte al fine di contrastare il disaccoppiamento imposto dagli Stati Uniti. La Cina, infatti, è il maggior estrattore e dunque fornitore di terre rare, fondamentali per varie produzioni soprattutto in campo elettrico. Inoltre, mentre gli americani provano a bloccare i cinesi dall'accedere ai chip più avanzati, questi ultimi diventano sempre più dominanti nella produzione di quei chip meno sofisticati che sono largamente impiegati nelle automobili e negli elettrodomestici di consumo. Per evitare il blocco delle sue esportazioni la Cina sta tessendo sempre più alleanze strategiche con i paesi emergenti; in particolare modo con India e Brasile.

Tuttavia, la supply chain dei semiconduttori e gli Stati Uniti non sono gli unici freni all'avanzata cinese. L'anticamera del conflitto con Taiwan è dietro l'angolo e pertanto rappresenta un importante fattore che non si può sottovalutare.

Le origini delle tensioni tra Cina e Taiwan sono da ricercare nella guerra civile cinese combattuta tra il 1927 e il 1949 e che vede come protagonisti il partito comunista cinese (PPC) di Mao Zedong e il Kuomintang (KMT) di Chiang Kai-Sek. Dopo la sconfitta delle forze nazionaliste, il governo del KMT si rifugiò a Taiwan nel 1949 dove stabilì una propria amministrazione e proclamò la nascita della Repubblica di Cina (ROC) rivendicando la continuità con la Cina storica. Allo stesso tempo nella Cina continentale il leader Mao Zedong fondò la Repubblica Popolare Cinese (RPC). Sin da quel momento Pechino considera Taiwan un propria provincia ribelle destinata alla riunificazione anche se nel frattempo l'isola, pur non essendo riconosciuta ufficialmente come stato indipendente dalla maggior parte dei paesi, ha mantenuto un'indipendenza de facto e ha sviluppato una propria identità politica evolvendosi ad una forma sempre più democratica e sempre più vicina agli Stati Uniti che con essa intrattengono importanti legami economici e militari.

Una data cruciale è il 1971 quando l'ONU ha espulso Taiwan e ha riconosciuto ufficialmente la Repubblica Popolare Cinese come "Unica Cina". I legami con gli USA nascono dal fatto che durante tutta la guerra fredda Taiwan ha giocato il ruolo di alleato strategico degli Stati Uniti. Questi ultimi, infatti, fornirono a Taipei assistenza militare ed economica e ciò contribuì alla sua trasformazione in un'economia avanzata. I rapporti con Taipei vennero formalmente interrotti nel 1979 quando gli Stati Uniti stabilirono relazioni diplomatiche ufficiali con Pechino. Nonostante l'apertura dei rapporti diplomatici con la Cina, gli Stati Uniti mantennero i rapporti con Taiwan continuando a sostenere l'isola attraverso il Taiwan Relations Act il quale garantisce all'isola assistenza militare e il diritto di difendersi. Oggi Taiwan è una realtà instabile in quanto non è riconosciuta come Stato indipendente anche se gode di un grande supporto occidentale.

Le cause dell'aumento delle tensioni tra Pechino e Taipei sono da ricercarsi nella crescita dell'influenza di Taiwan nell'economia globale e dalle ambizioni cinesi di rafforzare il suo controllo sulla regione. Per questi motivi il governo di Pechino, oltre ad aver intensificato le pressioni diplomatiche su paesi e organizzazioni internazionali per isolare Taiwan, ha iniziato ad entrare nello spazio aereo taiwanese con caccia e bombardieri e a condurre esercitazioni militari simulanti blocchi navali e invasioni intorno all'isola. Di fronte a questa possibile minaccia gli Stati Uniti hanno reagito rafforzando il loro supporto nei confronti di Taiwan aumentando la vendita di armi e inviando delegazioni ufficiali nell'isola. Ciò ha irritato parecchio il governo Cinese in quanto percepisce le azioni americane come una serie di gravi provocazioni. Ciò che preoccupa gli scienziati politici è il fatto che gli Stati Uniti hanno più volte ribadito che *non hanno intenzione di rimanere a guardare in caso di un attacco cinese all'isola* lasciando, quindi, aperta la possibilità di un diretto confronto militare. D'altro canto questo è inevitabile per entrambe le superpotenze in quanto non si tratta di una mera conquista territoriale ma di una questione con una posta in gioco troppo alta per cedere.

3.3. NVIDIA: un attore chiave nell'hardware dell'IA

Come abbiamo precedentemente accennato, NVIDIA è una delle aziende più influenti nel campo delle GPU e dell'Intelligenza Artificiale. Essa è stata fondata nel 1993⁴¹ negli Stati Uniti e si poneva l'obiettivo di sviluppare chip grafici per i mercati emergenti di videogiochi e grafica 3D.

Pochi anni dopo la sua fondazione, la neonata azienda lanciò una GPU (NV1) che non ebbe un forte successo in quanto non era compatibile con le API DirectX di Microsoft⁴². Nel 1998 l'azienda avviò una collaborazione con la taiwanese TSMC per la produzione dei suoi chip con il fine di contenere i costi di produzione ma ciò ebbe la spinosa conseguenza di legare l'azienda alla stabilità geopolitica di Taiwan.⁴³ Nel 1999 l'azienda affrontò una grave crisi che portò al licenziamento di un gran numero di dipendenti finalizzato ad evitare la bancarotta. Nel corso dello stesso anno, però, arrivò anche la svolta fondamentale per il colosso statunitense in quanto lanciò la prima GPU in grado di eseguire trasformazioni e illuminazione (T&L) in hardware⁴⁴: la GeForce 256⁴⁵.

Nel 2000 acquisì la 3dfx Interactive, una dei suoi principali concorrenti nonché una delle più importanti aziende nel settore delle schede grafiche. Dal 2000 in poi l'azienda ha collezionato notevoli successi: nel 2001 lanciò la GeForce 3⁴⁶, nel 2002 consegnò il suo centomilionesimo processore e venne nominata l'azienda americana con la crescita

⁴¹ NVIDIA, *Storia dell'azienda NVIDIA: Innovazione negli anni*.

⁴² Le API DirectX di Microsoft sono una raccolta di interfacce di programmazione che servivano a sviluppare applicazioni multimediali come videogiochi e grafica 3D su Windows.

⁴³ Il Messaggero, *La storia di Nvidia: dalla crisi del 1999 alla leadership nell'IA*, [IlMessaggero.it](https://www.ilmessaggero.it), 2024.

⁴⁴ Ciò fa sì che la GPU sia in grado di calcolare direttamente la posizione e l'illuminazione degli oggetti 3D senza dipendere dalla CPU migliorando sia le prestazioni che il realismo grafico.

⁴⁵ La GeForce256 è stata una scheda grafica innovativa che ha rivoluzionato il mondo del gaming grazie alla sua capacità di elaborare 10 milioni di poligoni al secondo.

⁴⁶ GeForce 3 è stata una delle prime GPU compatibili con DirectX 8 ed è stata introdotta anche da Microsoft nella console Xbox.

più rapida⁴⁷, nel 2004 uscì la versione migliorata GeForce 6 e nel 2005 fornì la tecnologia per le Playstation 3⁴⁸. Tuttavia, non fu immune da critiche: nel 2003 lanciò la GeForce FX 5800 Ultra e questa venne ampiamente criticata in quanto comportava un eccessivo consumo energetico rapportato all'efficienza, in ogni caso più scarsa rispetto alle schede concorrenti di ATI⁴⁹. Nel 2006 NVIDIA introdusse una piattaforma di programmazione che consentiva di utilizzare le GPU per il calcolo parallelo: la Computer Unified Device Architecture (CUDA). Questo software necessitò di 20 anni di lavoro per prendere forma e rappresentò un punto di svolta per l'azienda in quanto consentì l'espansione della stessa nei settori dell'Intelligenza Artificiale e del calcolo ad alte prestazioni creando una barriera pressoché invalicabile per gli eventuali concorrenti. Nel 2011, NVIDIA raggiunse il traguardo del miliardesimo processore prodotto e tra il 2016 e il 2020 divenne l'attore di maggiore importanza nel campo dell'Intelligenza Artificiale in quanto le sue GPU si dimostrarono le migliori per il Deep Learning. Nel 2016 lanciò l'architettura Pascal (GTX 10xx), nel 2018 lanciò Turing (RTX 20xx) e nel 2020 lanciò la serie RTX 30xx. A partire dal 2020 l'azienda ha provato ad espandersi anche in altri settori: ha tentato (fallendo) di acquisire ARM e ad oggi, con i suoi 26.000 dipendenti e con un valore azionario di 3.331 miliardi di dollari, domina i settori dei supercomputer e dell'IA.⁵⁰

NVIDIA è divenuta il punto di riferimento nel settore delle GPU per l'Intelligenza Artificiale e ad oggi domina il mercato in quanto fornisce hardware e software ottimizzati per le esigenze di quest'ultima. Come abbiamo detto in precedenza, le GPU in origine sono state create per consentire l'elaborazione grafica nei videogiochi e negli anni si sono dimostrate particolarmente efficaci per le esigenze dell'IA, in particolare per il Deep Learning in quanto, a differenza delle CPU, queste sono in grado di elaborare con-

⁴⁷ Financial Times, *Nvidia vaults past Apple and Microsoft to become world's most valuable company*, FT.com, 18 giugno 2024.

⁴⁸ NVIDIA, *Our History: A timeline of innovation*, Nvidia.com

⁴⁹ ATI Technologies è stata un'azienda canadese leader nel settore delle schede grafiche ed è stata incorporata da parte di AMD nel 2006. Ad oggi le GPU "AMD Radeon" sono ancora le principali concorrenti delle GeForce di NVIDIA.

⁵⁰ Financial Times, *Nvidia vaults past Apple and Microsoft to become world's most valuable company*, FT.com, 18 giugno 2024.

temporaneamente enormi quantità di dati e sono estremamente efficienti nello svolgere calcoli matriciali.

Le GPU sono essenziali nel settore dell'Intelligenza Artificiale in quanto, lavorando su un'architettura parallela, riescono a gestire con facilità le operazioni su milioni (o miliardi) di parametri richieste dalle reti neurali e dagli algoritmi di Deep Learning. Inoltre, le GPU sono essenziali per i modelli di calcolo automatico. Rispetto alle CPU, queste riescono a ridurre i costi operativi nei data center AI in quanto offrono migliori prestazioni con un minor consumo energetico. Infine, le GPU possono essere collegate tra loro dando vita ai cluster che permettono di potenziare ulteriormente la potenza di calcolo come avviene nei supercomputer che vengono dedicati all'addestramento dell'IA.

Il colosso americano “dell'uomo con la giacca in pelle”⁵¹ ha creato una serie di GPU sviluppate appositamente per gli usi nel settore dell'Intelligenza Artificiale: Tesla e A100, H100 (Hopper), RTX e TITAN.

È importante ricordare che NVIDIA non si è limitata allo sviluppo dell'hardware ma ha pensato e sviluppato un sistema software completo raggiungendo una posizione dominante. Il settore delle GPU per l'IA, tuttavia, rimane un campo in continua evoluzione e che presenta molteplici sfide: AMD e INTEL sono due aziende concorrenti che continuano a provare ad entrare nel mercato delle GPU per l'Intelligenza Artificiale. Anche se attualmente hanno avuto scarso successo, non è detto che nel futuro non riescano a farsi strada nel settore e ad arrivare a competere su un piano paritario. Inoltre, attualmente alcune aziende stanno sviluppando un loro proprio hardware per smettere di dipendere da NVIDIA: tra queste Google con le sue TPU, APPLE e META con i loro AI chips. Infine è importante ricordare che esiste la possibilità che il futuro dell'IA guarderà oltre le GPU grazie all'arrivo del calcolo quantistico.

⁵¹ Jensen Huang, CEO di NVIDIA che, indossando sempre una giacca di pelle nera nelle presentazioni e i keynote dell'azienda, ha trasformato l'indumento in una sorta di firma e caratteristica personale.

In altre parole, le GPU hanno rivoluzionato il campo dell'Intelligenza Artificiale e NVIDIA è stata la locomotiva in testa a questa trasformazione. Grazie al suo hardware all'avanguardia e ad un ecosistema software completo essa è tuttora al centro della corsa per il dominio dell'Intelligenza Artificiale anche se questa sua rapida corsa potrebbe essere frenata o arrestata nei prossimi anni in quanto il settore è in continua evoluzione e presenta numerose e imprevedibili sfide.

Negli ultimi anni l'IA ha raggiunto un livello di sviluppo altissimo e si è integrata in moltissimi settori divenendo di fondamentale importanza nella nostra quotidianità. Esempi degli impieghi quotidiani di questa nuova tecnologia risiedono, ad esempio, negli assistenti vocali come Alexa o Siri e in software per il miglioramento delle fotografie presenti nei nostri smartphone. Questa nuova tecnologia trova un impiego quotidiano anche in altre piattaforme di uso comune come Google Maps, dove viene impiegata per determinare il tragitto migliore o i social network dove suggerisce agli utenti nuovi account da seguire. Non sono trascurabili nemmeno gli impieghi dell'IA nel campo della guida autonoma e nelle piattaforme di IA generative come ChatGPT di OpenAI.

L'integrazione di strumenti che si servono della tecnologia IA nella nostra vita quotidiana dimostra quanto essa sia divenuta onnipresente. Settori avanzati come la guida autonoma di Tesla e ChatGPT di OpenAI dipendono fortemente dall'hardware sottostante e, nello specifico, dalle GPU prodotte da NVIDIA. Il ruolo centrale dell'IA nella nostra quotidianità, molto spesso inconsapevole, porta inevitabilmente a conseguenze geopolitiche in quanto, le nazioni e le aziende che detengono il controllo di software e hardware possiedono anche un enorme vantaggio strategico. NVIDIA, essendo attore dominante nel settore delle GPU, è al centro di questa rivalità globale.

Come abbiamo detto, le GPU prodotte da NVIDIA sono essenziali per i data center che alimentano globalmente l'IA e gli Stati Uniti, essendo consapevoli di questa importanza strategica di NVIDIA, hanno imposto restrizioni all'esportazione in Cina di chip avanzati⁵² al fine di arginare il progresso dell'Intelligenza Artificiale cinese. A sua volta

⁵² New York Post, *Trump Officials Urge Allies to Limit Chip Exports to China: Report*, NYPost.com, 25 febbraio 2025.

la Cina, con Huawei e SMIC, cerca inesorabilmente di sviluppare alternative nazionali anche se, ad oggi, rimane fortemente dipendente dalla tecnologia occidentale.

È importante non dimenticare che le aziende che detengono il dominio delle tecnologie di IA sono in grado di controllare e gestire i flussi di dati globali e la sicurezza informatica. Il controllo sulle GPU di NVIDIA fa sì che gran parte dell'addestramento IA dipenda da forniture statunitensi e ciò fornisce loro un enorme potere contrattuale. L'IA, inoltre, viene usata in maniera massiva anche nei sistemi di sorveglianza, nelle operazioni militari e di sicurezza nazionale, pertanto il monopolio di NVIDIA fa sì che la sua tecnologia si sia rivelata essenziale per le difese occidentali. Altre potenze come Russia, Cina e India stanno provando a sviluppare alternative alla fornitura occidentale nel tentativo di sfuggire al dominio americano del settore. Anche altre aziende americane come OpenAI, Google e Tesla dipendono dalle GPU di NVIDIA per le loro applicazioni di IA avanzate per cui, se questa decidesse di limitare l'accesso ai chip che produce o di aumentarne i prezzi ciò potrebbe causare un rallentamento dell'innovazione di questi settori. Allo stesso tempo, tutto questo, comporterebbe un rafforzamento del monopolio delle big tech facendo emergere la vulnerabilità del sistema della supply chain dei chip.

L'IA, quindi, è un elemento ormai essenziale della nostra quotidianità ma non è trascurabile il fatto che la sua crescita dipenda dall'accesso a risorse hardware avanzate e NVIDIA, essendo attore dominante e quasi monopolista del settore, guida sia il progresso tecnologico che la competizione geopolitica che coinvolge superpotenze come Cina e Stati Uniti. Il futuro di questa tecnologia è una questione di innovazione e sviluppo che deve tenere conto anche di chi deterrà il controllo dell'hardware necessario ad alimentarlo.

3.4. L'hardware come aspetto cruciale: dipendenza e rischi

In ingegneria il “collo di bottiglia” è un fenomeno che avviene quando le prestazioni di un sistema sono fortemente vincolate da un singolo elemento che viene a sua volta chiamato punto del collo di bottiglia. Anche in economia è utilizzata questa metafora

per descrivere un punto o un'area di un sistema in cui il flusso di lavoro o la produttività vengono rallentati o limitati. Se immaginiamo l'intero settore della tecnologia e dell'informatica come una bottiglia, il collo di questa è sicuramente rappresentato dalla supply chain dei semiconduttori. Questa catena è controllata da una manciata di attori che detengono un potere contrattuale altissimo tanto che potrebbe essere corretto parlarne in termini di oligopolio. Questi attori chiave, di cui abbiamo ampiamente parlato nel corso di questo capitolo, sono la taiwanese TSMC per quanto riguarda la produzione pratica dei chip, l'olandese ASML per quanto concerne la fornitura di macchine per la litografia, NVIDIA, Samsung e INTEL per l'area di ricerca e sviluppo della parte software. Per poter funzionare correttamente, il sistema oligopolista necessita di una cooperazione continua tra i membri. Essendo un sistema fondato sull'interdipendenza dei singoli attori, una singola interruzione della supply chain causerebbe degli effetti a cascata sull'intera economia mondiale visto che, ad oggi, nessuna impresa sarebbe in grado di gestire autonomamente l'intero processo produttivo. I semiconduttori sono componenti fondamentali per settori come l'automotive, l'elettronica di consumo, la difesa e le telecomunicazioni. Eventi come la carenza globale di chip del 2020-2022 hanno messo in risalto la vulnerabilità e precarietà dell'intero sistema.

La concentrazione della produzione di questi componenti in una cerchia ristretta di attori comporta una serie di conseguenze critiche. La pandemia e le tensioni geopolitiche causate dalla rivalità tra Cina e Stati Uniti hanno dimostrato quanto sia sottile la corda su cui poggia l'intera catena di approvvigionamento globale: una banale interruzione può bloccare la produzione di automobili, elettrodomestici e smartphone in tutto il mondo.

La crescita della domanda di semiconduttori iniziata nel 2021, che ha causato ritardi anche a colossi come Ford, General Motors e Apple, non è stata accompagnata da un tempestivo adeguamento dell'offerta e ciò ha determinato un dilatamento dei tempi di attesa per la consegna oltre che ad un'inevitabile aumento dei prezzi. Questa crescita ha raggiunto un valore di 550 miliardi di dollari nel 2021.⁵³

⁵³ Montanino, A., Camerano S., Carriero, A., Rodà, M., Valdes C., *La crisi dei semiconduttori: cosa succede?*, Cassa Depositi e Prestiti (CDP), 26 aprile 2022, pp. 2.

Non sono trascurabili le dinamiche di monopolio e le barriere di ingresso nel settore per i nuovi competitor in quanto queste fanno sì che il mercato sia nelle mani di pochi e potenti players che possono liberamente decidere quali siano le priorità nella produzione favorendo alcuni clienti piuttosto che altri. Per rendersi conto di quanto sia difficile entrare in questo mercato basta ricordare che il costo per la costruzione di una fonderia di semiconduttori di alta fascia si aggira attorno ai 10-20 miliardi di dollari e che i tempi di realizzazione degli impianti vanno dai 3 ai 5 anni.

La dipendenza da pochi fornitori rappresenta anche una questione di sicurezza nazionale oltre che un problema di carattere economico. Essendo essenziali tecnologie per la difesa, una interruzione nella fornitura di semiconduttori avanzati potrebbe determinare una falla nella capacità dei paesi di difendersi in caso di attacco. Nello specifico, i semiconduttori avanzati sono strumenti essenziali per la costruzione di sistemi di difesa come missili, satelliti, radar, e per le infrastrutture di comunicazione come reti 5G, Data Center e cloud computing. Svolgono un ruolo cruciale anche nel settore dell'Intelligenza Artificiale e del super calcolo applicati ad azioni militari.

Questa crescita della domanda di semiconduttori è stata determinata da un insieme di fattori sia strutturali che congiunturali. Innanzitutto l'accelerazione del 5G ha comportato un aumento della domanda nel settore delle telecomunicazioni e dell'automotive. Il processo di elettrificazione delle auto e il crescente utilizzo di chip nelle applicazioni dell'industria smart e delle case smart hanno a loro volta contribuito alla crescita della domanda di chip. Anche la pandemia da covid-19 ha contribuito comportando una crescita della domanda di tecnologia di consumo utilizzata per rispondere alle restrizioni imposte durante la fase critica di gestione dell'emergenza sanitaria. Infine, il massivo utilizzo delle scorte per rispondere agli eccessi di domanda giudicati erroneamente gestibili e temporanei e il conflitto tra Russia e Ucraina (principali fornitori di gas chimici come il C₄F₆ e il neon fondamentali per il processo produttivo dei semiconduttori) sono fattori da tenere in considerazione in quanto hanno impattato anche essi sull'impennata della richiesta di semiconduttori.

I governi di tutto il mondo si ritrovano costretti ad adottare delle politiche che mirano a garantire la stabilità degli approvvigionamenti.

Guardando più nello specifico, l'Europa rappresenta il 20% della richiesta mondiale di semiconduttori ma realizza soltanto il 10% della produzione e ciò comporta una fortissima dipendenza dalle forniture estere. Per rispondere a questa fragilità, la Commissione Europea già nel 2018 è intervenuta autorizzando aiuti di stato di Francia, Germania, Italia e Regno Unito a sostegno del progetto *IPCEI Microelettronica* il quale mira ad aiutare lo sviluppo del settore della microelettronica in territorio europeo. Sempre in questo contesto⁵⁴, nel 2022 la Commissione Europea ha adottato l'European Chips Act con lo scopo di garantire maggiore autonomia all'Europa in materia di semiconduttori e, quindi, di raddoppiare la capacità produttiva dell'Unione portandola dall'attuale 10% al 20%. Questo pacchetto di Atti contiene la proposta di nuovi framework regolatori ed una raccomandazione della Commissione ai paesi membri. Le risorse stanziare ammontavano a 11 miliardi di euro che mirano a generare un'onda di investimenti pubblici e privati per 43 miliardi di euro entro il 2030.⁵⁵ Poche settimane dopo il lancio dell'European Chips Act, INTEL ha lanciato un proprio piano di investimenti decennale a supporto dell'intera global value chain europea dei semiconduttori con risorse pari a 80 miliardi di euro.

È importante ricordare che l'Unione Europea non è stata l'unico attore a muoversi in materia di semiconduttori. Anche gli Stati Uniti, infatti, hanno preso due importanti provvedimenti: il *Chips for America Act* e il *FABS act*. D'altro canto, la prima ad avere agito in materia è stata la Cina che, sin dal 2015, ha iniziato un percorso mirante all'affermazione nel settore dei semiconduttori. Con il piano *Made in China 2025* la potenza asiatica mirava a raggiungere l'indipendenza completa nel campo dei semiconduttori entro il 2025.⁵⁶ Tuttavia nel 2019 i target del piano sono stati rivisti con una rivalutazio-

⁵⁴ European Commission, *Second in-depth review of strategic areas for Europe's interests*, European Commission, 2022.

⁵⁵ European Commission, *Updated in-depth review of Europe's strategic dependencies*, European Commission, 2022.

⁵⁶ Geopolitica.info, *Europa-Cina. La sfida industriale di "Made in China 2025"*, Geopolitica.info, 2024.

ne degli obiettivi che vogliono una produzione domestica in grado di soddisfare l'80% della domanda entro il 2030.

Sul fronte della resilienza economica, quindi, i governi hanno intrapreso una serie di azioni con il fine di diversificare la supply chain dei semiconduttori cercando di incentivare la costruzione di fonderie in nuovi territori. INTEL, come abbiamo accennato, ha promesso investimenti (al momento ritardati per i paesi europei) in Germania, Polonia e Stati Uniti; TSMC ha avviato degli investimenti in Arizona e Giappone. È rilevante ricordare anche che ridurre la dipendenza da Taiwan e Corea del Sud è una questione complessa e molto costosa i cui risultati potrebbero richiedere molto tempo se non risultare addirittura fallimentari. Per questi motivi l'alternativa potrebbe essere puntare su nuove tecnologie che, però, richiedono anni di ricerca e sviluppo prima di divenire competitive su ampia scala.

In conclusione, la sicurezza e la resilienza dei semiconduttori sono una questione strategica che potrebbe rimodellare gli equilibri di potere mondiali nei decenni a venire e per questo non si possono pensare come problemi di rilevanza prettamente industriale ed economica.

4. Implicazioni del Controllo dell'hardware

4.1. Geopolitica e sovranità tecnologica

Il controllo dell'hardware risulta ad oggi essere una delle leve strategiche più importanti nelle dinamiche di potere globale in quanto assume un ruolo centrale nella definizione della sovranità tecnologica e degli equilibri geopolitici. In questo contesto, la capacità di sviluppare, produrre, integrare e governare le infrastrutture hardware connesse ai semiconduttori, ai microprocessori e alle reti di comunicazione è divenuta una competenza essenziale. Assume dunque una particolare rilevanza nella competizione tra grandi potenze come gli Stati Uniti, la Cina e l'Unione Europea. La corsa al controllo delle supply chains tecnologiche dimostra, sia il grande ritorno economico garantito da un'elevata capacità produttiva in questo settore, sia la comune necessità degli stati di garantirsi un sufficiente grado di indipendenza strategica in settori chiave come la difesa, l'Intelligenza Artificiale, il cloud computing e le telecomunicazioni. In questo contesto, stiamo assistendo ad un processo di reshoring e nearshoring degli impianti produttivi che vengono seguiti da politiche industriali aggressive che hanno l'obiettivo di incentivare il rimpatrio della produzione di chip avanzati.

Il dominio delle filiere dell'hardware, quindi, diviene una sorta di arma geopolitica: se la Cina è la leader principale per quanto riguarda l'estrazione e la raffinazione di alcuni elementi essenziali alla realizzazione di alcuni (ma non basati sul silicio) componenti elettronici, è a sua volta al centro di una rete di interdipendenze che crea vulnerabilità ad altri paesi. Allo stesso modo, il blocco delle esportazioni di tecnologie all'avanguardia verso la Cina imposto dal governo americano⁵⁷ evidenzia l'uso strategico dell'innovazione come leva di pressione politica e diplomatica. Per questo, il rischio di decoupling tecnologico diviene sempre più concreto e ciò potrebbe avere delle grandi ripercussioni sullo sviluppo dell'economia globale nonché sull'innovazione e sulla cybersecurity.

⁵⁷ New York Post, *Trump Officials Urge Allies to Limit Chip Exports to China: Report*, NYPost.com, 25 febbraio 2025.

Il controllo dell'hardware, quindi, non è più solamente un fattore tecnico bensì una questione più ampia che ha a che fare con la sicurezza internazionale e con le dinamiche di potere.

Quando parliamo di decoupling tecnologico, facciamo riferimento alla progressiva separazione tra il sistema tecnologico dell'Occidente e quello cinese. Questo processo sta generando una frammentazione della governance globale che si riflette nella competizione per la definizione di standard tecnologici, nella superflua duplicazione di piattaforme hardware e software e nell'emergere di regimi normativi differenti in materia di trattamento dei dati e, più in generale, di sicurezza informatica. Il contesto di crescente incertezza costringe le imprese multinazionali ad adattare le proprie strategie a delle normative regionali incompatibili tra loro e ad affrontare delle restrizioni alle esportazioni di tecnologie di fondamentale importanza. Le ripercussioni sull'innovazione tecnologica di questa incertezza sono significative in quanto questa comporta una riduzione della cooperazione internazionale che finisce per rallentare il progresso tecnologico e aumentare i costi di ricerca e sviluppo. Ciò potrebbe avere degli effetti potenzialmente disastrosi sulla competitività economica; specialmente nel lungo termine.

Il decoupling tecnologico potrebbe anche comportare la creazione di ecosistemi paralleli e incompatibili a livello di standard di interoperabilità, algoritmi, codici sorgente e interfacce digitali. Questa frammentazione tecnologica rafforza la logica dei blocchi in quanto alimenta nuove forme di competizione strategica dove la supremazia tecnologica diviene determinante per l'influenza politica, militare ed economica. L'adozione di politiche protezionistiche e di eccessiva chiusura può avere effetti negativi in quanto riduce la capacità di innovare e comporta un aumento dei costi per i consumatori. Il futuro del controllo dell'hardware è determinato dall'abilità degli attori globali di bilanciare sovranità e interdipendenza, sicurezza e cooperazione, innovazione e regolamentazione.

In un contesto di crescente tensione tra le principali potenze mondiali, gli Stati utilizzano una serie di strumenti pratici per influenzare o ostacolare il controllo delle tecnologie hardware a livello internazionale. Sanzioni economiche, dazi doganali e limitazio-

ni alle esportazioni di tecnologie strategiche rientrano tra questi. Queste strategie vengono tradizionalmente utilizzate con il fine di esercitare pressioni economiche o diplomatiche e ad oggi vengono impiegati in modo mirato per limitare l'accesso a tecnologie sensibili e, di conseguenza, per rallentare lo sviluppo tecnologico dei concorrenti. Se da un lato gli Stati Uniti limitano le esportazioni di componenti tecnologiche e macchinari per la litografia, la Cina risponde con delle pesanti restrizioni sulle materie prime e investe molte risorse su piani che mirano all'autonomia totale. In questo contesto, quindi, l'hardware diventa sempre più una leva geopolitica il cui controllo comporta una modifica permanente delle supply chains globali.

Negli ultimi mesi si è discusso frequentemente della “guerra dei dazi” tra gli Stati Uniti e la Cina. Le origini di questo conflitto risalgono alla prima amministrazione Trump del 2018 nella quale, come abbiamo detto in precedenza, gli Stati Uniti hanno iniziato ad imporre una serie di tariffe doganali su una vasta gamma di prodotti importati giustificando questo innalzamento di barriere al commercio come l'inevitabile risposta ad un calo della produzione interna. Si manifestò anche la necessità di dare maggiore protezione all'industria nazionale americana e di correggere gli squilibri commerciali.

Inizialmente queste misure furono indirizzate verso Canada e Unione Europea per poi estendersi rapidamente alla Cina la quale venne accusata di attuare pratiche commerciali scorrette. Tra queste ricordiamo l'accusa di furto di proprietà intellettuale, l'obbligo di trasferimento tecnologico per le aziende straniere operanti in Cina e la contestazione di fornire massicci sussidi statali alle imprese cinesi. Ciò ha dato avvio ad una pericolosa ritorsione commerciale che ha segnato in modo profondo l'intera economia mondiale. Gli Stati Uniti, infatti, hanno imposto dei dazi su oltre 250 miliardi di dollari di beni cinesi. La Cina non è rimasta a guardare e ha risposto con delle pesanti tariffe su prodotti agricoli e industriali americani.

Anche in questo caso, come previsto dai principi generali dell'economia, l'introduzione delle tariffe ha portato alla naturale conseguenza di generare delle profonde divisioni interne, poiché alcuni settori industriali hanno beneficiato di una maggiore prote-

zione dalla concorrenza esterna. Allo stesso tempo, molte aziende dipendenti dall'importazione di componenti, in particolare nel settore tecnologico e agricolo, ne hanno subito le devastanti ricadute economiche. Già allora, le proteste di associazioni imprenditoriali, lavoratori e consumatori si sono andate via via allargando.

Questo conflitto colpì duramente il settore tecnologico e mise grave pressione alle catene globali di approvvigionamento. La conseguenza fu un grande rallentamento della crescita economica di entrambi i paesi. Alla fine dello stesso anno venne negoziata una tregua che portò ad un parziale accordo nel 2020.

Da un punto di vista economico, l'apertura al commercio può influenzare la crescita di un Paese. L'apertura agli scambi può permettere l'introduzione di nuove tecnologie che causano un'accelerazione dello sviluppo interno. Se un paese si chiude al commercio internazionale è probabile che cresca più lentamente in quanto non riesce ad assorbire e ad utilizzare le nuove tecnologie sviluppate in altri paesi. Il commercio, inoltre, fornisce l'accesso a prodotti nuovi e, molto spesso, migliori. L'apertura al commercio internazionale può avere anche un impatto sull'incentivo ad innovare in quanto l'aumento degli scambi fa aumentare a sua volta la concorrenza che spinge le imprese a cercare una migliore tecnologia al fine di aumentare la produttività e ridurre i costi di produzione.⁵⁸

D'altro canto, l'apertura al commercio in genere danneggia alcuni gruppi all'interno di qualsiasi paese. Dobbiamo, in questo senso, distinguere tra breve e lungo periodo. Nel breve periodo tutti i gruppi legati ai settori in crescita guadagnano dall'apertura e tutti i gruppi legati ai settori in declino perdono. Nel lungo periodo i fattori produttivi possono spostarsi tra i settori in risposta a delle differenze nei rendimenti e i prezzi dei prodotti tenderanno ad eguagliarsi tra i paesi. A livello aggregato aumenta dunque il benessere, anche se con effetti diversi in gruppi diversi.

Il consenso generale degli economisti nei confronti del libero scambio deriva dal fatto che di solito ci sono guadagni netti da un commercio più libero; sia per le nazioni singole che per il mondo intero.

⁵⁸ Pugel, T. A. (2020). *International Economics*, 17^a ed. (New York: McGraw-hill Education, 2020), cap. 8.

Una tariffa è una tassa sull'importazione di un bene o un servizio in un paese e solitamente viene riscossa dai funzionari doganali nel luogo d'ingresso del bene.

Analizzando sinteticamente una tariffa emerge che essa:

- Riduce quasi sempre il benessere mondiale;
- Solitamente riduce il benessere della nazione che la impone;
- Aiuta i produttori dei beni sostituti alle importazioni;
- I consumatori nazionali risultano penalizzati, dovendo acquistare gli stessi beni a prezzi maggiorati;

La regola della specificità, la quale afferma che è solitamente più opportuno utilizzare lo strumento politico che agisce il più direttamente possibile sulla fonte della distorsione economica, consente di capire che molto spesso vi sono delle soluzioni economicamente più convenienti rispetto all'imposizione di una tariffa.

Sorge spontaneo chiedersi come mai le recenti politiche del presidente americano siano state volte alla minaccia e all'effettiva introduzione di dazi se questi sono, da un punto di vista teorico, controproducenti sotto ogni punto di vista. Per spiegare l'effetto dell'imposizione di una tariffa mi servirò della fig.1.1 in quanto essa consente di capire come agisce una barriera al commercio e ci aiuta a comprendere le motivazioni che stanno alla base della sua imposizione.

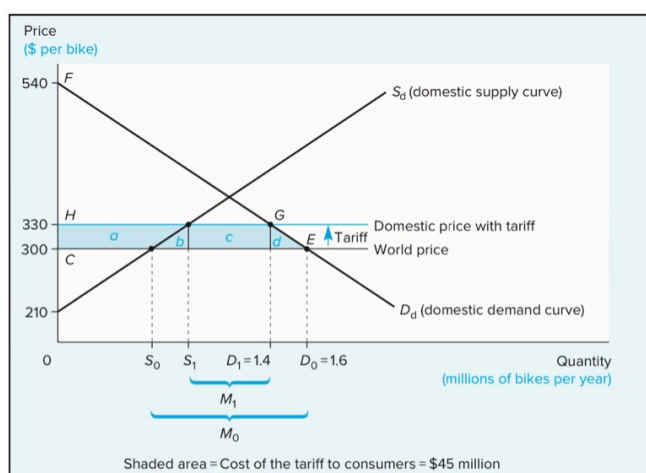


Figura 1.1

Pugel, T. A. (2020). *International Economics*, 17^a ed. (New York: McGraw-hill Education, 2020), cap. 8, p. 145.

In questo semplicissimo grafico riusciamo a capire quale sia l'effetto dell'imposizione di una tariffa. Si evince che al prezzo mondiale di 300\$ per bicicletta il nostro paese di riferimento ha una domanda domestica pari a D_0 di 1,6 milioni di biciclette all'anno e produce una quantità di biciclette pari al punto S_0 . Di conseguenza M_0 si riferisce alla quantità di biciclette che il paese importa dagli altri stati. Il primo effetto dell'imposizione di una tariffa è l'aumento del prezzo del bene. In questo caso, con un prezzo di 330\$ per bicicletta, i produttori di biciclette nazionali riusciranno a produrre un numero maggiore del bene grazie alla protezione fornita dalla tariffa, riscontrabile nel punto S_1 . La tariffa ha, inoltre, l'effetto sperato della contrazione delle importazioni e ciò è visibile da M_1 . D'altro canto, però, l'aumento del prezzo comporta una riduzione del consumo interno (D_1) che diverrà di 1.4 milioni di biciclette all'anno.

In altre parole: il prezzo aumenta, la produzione interna aumenta, il consumo interno diminuisce e le importazioni diminuiscono.

L'effetto della tariffa è positivo, quindi, per i produttori del bene oggetto della protezione ma negativo per il mondo e per il consumatore interno in quanto comporta un aumento del prezzo del bene e una conseguente riduzione dei consumi.

Un ulteriore rischio di fondamentale importanza legato all'introduzione di un dazio, o più in generale di una barriera commerciale, risiede nella possibilità che altri paesi rispondano con l'applicazione di contromisure tariffarie volte a neutralizzare l'impatto economico della tariffa iniziale o esercitare pressioni politiche per la sua rimozione. Questo è esattamente quanto accaduto tra Stati Uniti e Cina nei mesi di marzo e aprile 2025. Infine, un rischio indiretto dell'imposizione di una tariffa deriva dal fatto che il mercato interno rischia di subire degli effetti distorsivi nel lungo periodo. La produzione interna, protetta artificialmente dalla concorrenza estera grazie alla tariffa, può essere scoraggiato dall'investire sull'innovazione e sul miglioramento dell'efficienza produttiva in quanto le imprese nazionali potrebbero non sentire la necessità di sforzarsi a migliorare la qualità dei beni prodotti o di ridurre i costi di produzione. Il dazio, quindi, diviene una sorta di stampella che sostiene il mercato rendendolo dipendente dalla pro-

tezione. Se il dazio venisse rimosso le imprese che hanno beneficiato della protezione non sarebbero più competitive sul piano internazionale e rischierebbero di venire travolte dalla concorrenza.

Tutto ciò trova un riscontro concreto e attuale nella situazione geopolitica che coinvolge in particolare Stati Uniti, Cina e Unione Europea in quanto, sin dal suo insediamento alla Casa Bianca, il presidente americano Donald Trump ha adottato una politica fortemente protezionista innalzando le barriere commerciali nei confronti di tutti i maggiori partner commerciali. La maggiore preoccupazione degli economisti è che questo possa scatenare tensioni internazionali che rischiano di compromettere la crescita economica globale e di ostacolare il libero scambio delle merci che, come detto in precedenza, è generalmente associato ad un aumento del benessere collettivo.

Le politiche protezionistiche dell'esecutivo statunitense hanno avuto un impatto significativo nel settore tecnologico, in particolare su aziende come Apple. L'introduzione di dazi fino al 125% sulle importazioni di prodotti provenienti dalla Cina ha spinto il colosso americano a prendere dei seri provvedimenti al fine di salvaguardare i propri profitti e mitigare gli effetti economici negativi che questi avrebbero necessariamente comportato. In un'operazione di emergenza, infatti, l'azienda ha organizzato un trasporto aereo eccezionale verso gli Stati Uniti comprendente 5 voli carichi di iPhone e altri dispositivi prodotti negli stabilimenti di Cina e India cercando di anticipare l'entrata in vigore delle nuove tariffe. In questo modo Apple è riuscita a garantirsi delle scorte sufficienti per il mercato americano almeno fino all'autunno, periodo nel quale è previsto il lancio del nuovo iPhone 17.⁵⁹ L'amministrazione Trump ha annunciato successivamente l'esenzione di smartphone, computer e altri dispositivi elettronici dalle nuove tariffe e ciò ha consentito ad Apple e ad altre aziende che lavorano nel settore informatico e tecnologico di tirare un temporaneo respiro di sollievo.

Questi sconvolgimenti politici evidenziano come le politiche commerciali possano influenzare in maniera significativa le strategie aziendali. Questi sono in grado di spin-

⁵⁹ Corriere della Sera, Apple ha giocato d'anticipo sui dazi: 5 aerei pieni di iPhone partiti da Cina e India, Corriere.it, 9 aprile 2025.

gere le imprese a rivedere e modificare le proprie catene di approvvigionamento e a investire in nuove aree per garantire la competitività e la sostenibilità a lungo termine.

Non è detto che l'obiettivo dell'amministrazione Trump di riportare la produzione in suolo statunitense sia la strategia economicamente migliore e più efficiente per risolle-
vare l'economia e la produzione americana. La Cina è una grande esportatrice di manu-
fatti e il suo settore manifatturiero è uno dei più produttivi ed efficienti al mondo. Il
contesto normativo in cui si inserisce il settore manifatturiero cinese è profondamente
diverso rispetto a quello in cui questo si inserisce nelle economie occidentali. Le lacune
democratiche, le scarse norme sull'inquinamento ambientale e l'organizzazione gerar-
chica della produzione cinese consentono al Paese di avere un forte vantaggio compara-
to in quanto possiede abbondante forza lavoro a basso costo, disposta a lavorare per
lunghi turni e con scarse garanzie sindacali. Il costo della produzione è molto più basso
in quanto questa non è sottoposta a tutti i vincoli ambientali e relativi alla salvaguardia
dei diritti umani e sociali ai quali è sottoposta la produzione nei paesi occidentali.

La riallocazione della produzione negli Stati Uniti d'America, rischia di essere molto
costosa e poco efficiente, quindi un'arma a doppio taglio.

4.2. Le terre rare come una leva di potere

Quando parliamo di “terre rare” ci riferiamo ad un gruppo di elementi chimici che
sono fondamentali per una vasta gamma di tecnologie moderne. Questo gruppo di 17
elementi chimici, tra cui scandio, ittrio e i lantanidi, sono essenziali nella produzione di
magneti permanenti, batterie ricaricabili, catalizzatori, display e cristalli liquidi nonché
di fibre ottiche e sistemi di propulsione avanzati. Il loro utilizzo è fondamentale per il
funzionamento di smartphone, veicoli elettrici, turbine eoliche e missili guidati.

Nonostante siano denominate come “rare”, queste terre non lo sono di fatto in quanto
la loro denominazione fa riferimento non tanto alla loro presenza nella crosta terrestre
bensì alla difficoltà di estrazione e raffinazione.

Una particolare attenzione va data al germanio e al gallio. Questi sono metalli di importanza per l'industria tecnologica avanzata, per la difesa e per la transizione energetica. Le loro proprietà uniche hanno un impatto positivo sulle prestazioni ed efficienza energetica dei dispositivi elettronici e li rendono una componente essenziale per la produzione di chip avanzati. Il gallio viene utilizzato per la realizzazione di semiconduttori ad alta velocità, LED, laser a diodo e celle solari. Esso offre una velocità maggiore e una minore resistenza sfruttate tipicamente nella conversione in energia. Il germanio, invece, viene impiegato in fibre ottiche, sensori infrarossi e dispositivi elettronici avanzati. Esso è essenziale per le comunicazioni a lunga distanza e per la trasmissione di dati ad alta velocità. Entrambi i metalli sono importanti, anche se si tratta di prodotti di nicchia, sia per applicazioni civili che militari.

Attualmente la Cina svolge un ruolo chiave nella produzione e raffinazione delle terre rare. Inoltre, essa controlla oltre il 95% della produzione mondiale di gallio e circa il 60% di quella di germanio⁶⁰. A partire dal 2024, essa ha consolidato ulteriormente il suo ruolo pilota sul controllo di queste risorse strategiche implementando un monopolio statale su tutta la catena di fornitura delle terre rare. Ciò gli garantisce un potere non indifferente nelle dinamiche geopolitiche globali in quanto essa è in grado di influenzare l'accesso ai materiali critici a molte nazioni. Le recenti restrizioni alle esportazioni imposte da Pechino hanno suscitato crescenti preoccupazioni tra i paesi occidentali.

A partire da luglio 2023 la Cina ha annunciato l'introduzione di maggiori controlli sulle esportazioni di gallio e germanio richiedendo alle aziende straniere di ottenere permessi speciali per esportare prodotti contenenti questi metalli. Queste misure vennero poste in atto per giustificare la necessità di una maggiore protezione della sicurezza nazionale e di adempiere agli obblighi internazionali di non proliferazione. D'altro canto, però, molti osservatori ritenevano si trattasse di una risposta alle restrizioni imposte dagli Stati Uniti e dai loro alleati sulle esportazioni di tecnologie avanzate verso la Cina.

⁶⁰ Lv, A. e Munroe T., *China bans export of critical minerals to US as trade tensions escalate*, Reuters, 3 dicembre 2024.

Le restrizioni cinesi hanno avuto un grandissimo impatto sulle industrie occidentali: le esportazioni cinesi di gallio sono crollate di 2/3, scendendo a 8,47 milioni di dollari e quelle di germanio sono risultate dell'8% inferiori e hanno raggiunto 48,42 milioni di dollari. Le esportazioni verso gli Stati Uniti e il Giappone sono state tra le più colpite⁶¹; quelle verso la Russia, invece, sono aumentate. Questa carenza di disponibilità ha spinto paesi come la Germania a tentare una ripresa della produzione domestica di questi metalli nel tentativo di ridurre la dipendenza dalla Cina. In questo senso, i paesi occidentali sono stati costretti a rivedere le loro catene di approvvigionamento e a sviluppare delle alternative volte a garantire l'accesso a queste risorse critiche.

Appare utile menzionare in questa sede il ruolo dell'Ucraina e la genesi dell'accordo con gli Stati Uniti in materia di terre rare.

Essendo una risorsa geopolitica cruciale, gli Stati Uniti hanno attuato una serie di iniziative volte alla diversificazione delle loro fonti di approvvigionamento. Lo stato americano ha puntato, quindi, ad una riduzione della vulnerabilità alle interruzioni delle forniture cinesi dalle quali essi sono storicamente dipendenti. In questo contesto, l'Ucraina è emersa come un valido partner strategico grazie al quale la produzione di batterie, radar e sistemi di difesa avanzati divengono possibili per via della ricchezza del suo sottosuolo.⁶²

L'Ucraina, infatti, possiede circa il 5% delle risorse mondiali di terre rare. Inoltre si posiziona tra i primi 40 paesi produttori in quanto il suo sottosuolo abbonda di minerali come manganese, titanio, grafite e litio⁶³. Attualmente, molti di questi giacimenti si trovano in zone di conflitto e ciò complica notevolmente la situazione.

Nel corso di quest'anno il presidente ucraino Volodymyr Zelensky ha proposto all'esecutivo statunitense un accordo che prevedeva l'accesso alle risorse minerarie ucraine in cambio di un supporto finanziario e militare nel conflitto in corso con la Russia. La controproposta degli Stati Uniti è stata respinta dall'Ucraina in quanto questa riteneva

⁶¹ Perlasca G., *Crolla l'export cinese di gallio e germanio. Problemi per le industrie occidentali di semiconduttori*, Scenari Economici, 21 gennaio 2024.

⁶² NPR, *5 minerals in Ukraine that may be part of a deal with the U.S.*, NPR.org, 26 febbraio 2025.

⁶³ Neuman, S., *5 minerals in Ukraine that may be part of a deal with the U.S.*, NPR, 26 febbraio 2025.

che la versione americana dell'accordo non offrisse garanzie di sicurezza sufficienti. Il presidente ucraino Zelensky ha sottolineato più volte la necessità di tutelare gli interessi ucraini e di garantire la sovranità nazionale prima di procedere con qualsiasi tipo di accordo. Nello specifico, l'accordo inizialmente prevedeva che gli americani avrebbero acquisito una partecipazione pari al 50% nelle miniere ucraine e avrebbero dispiegato eventualmente delle truppe americane per garantire la sicurezza delle risorse. Kiev, mostratasi preoccupata, ha richiesto delle garanzie di sicurezza più solide. Le trattative si sono concluse con la firma di un memorandum d'intesa non vincolante tra i due paesi con l'obiettivo della firma di un accordo entro la fine di aprile 2025.⁶⁴

Per Washington l'accesso alle terre rare ucraine (e anche alle risorse minerarie più in generale) risponderebbe all'esigenza strategica di ridurre la dipendenza dalla Cina la quale, come detto in precedenza, controlla circa il 90% della raffinazione di questi materiali.

D'altro canto, però, l'accordo ha sollevato numerose critiche, anche a livello europeo. Tra queste viene in rilievo la riflessione del cancelliere tedesco Olaf Scholz il quale definì l'iniziativa "egocentrica" sottolineando come l'Ucraina dovrebbe concentrare l'utilizzo delle sue risorse minerarie per finanziare la ricostruzione post-bellica e non come merce di scambio per ottenere assistenza militare nel conflitto.

La corsa alle terre rare e ai materiali critici sta alimentando anche nuove rivalità. L'Unione Europea, come gli Stati Uniti, ha avviato iniziative che mirano ad una maggiore differenziazione delle fonti di approvvigionamento. In questo senso entra in gioco il Critical Raw Materials Act⁶⁵ il quale punta ad un rafforzamento dell'autonomia strategica del continente europeo. Questa iniziativa include investimenti in progetti minerari all'interno dei confini europei oltre che delle partnership con paesi terzi e una spinta al riciclo di minerali che sono già impiegati in dispositivi esistenti, aspetto che rientra nella logica europea della conservazione ambientale e transizione ecosostenibile.

⁶⁴ Financial Times, *US and Ukraine sign memorandum of intent on minerals deal*, FT.com, 17 aprile 2025.

⁶⁵ Si tratta di una normativa dell'Unione Europea adottata nel maggio 2024 con l'obiettivo di garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile in materia di materie prime critiche.

Tuttavia l'ambizione della riduzione della dipendenza da paesi terzi si scontra con la complessa realtà che vede l'estrazione e la raffinazione come sfide ambientali significative. Infatti, i processi chimici che servono per isolare questi elementi sono molto inquinanti e per questi motivi si svolgono spesso in contesti nei quali le normative ambientali sono deboli e scarsamente applicate. Inoltre, i costi di produzione sono nettamente inferiori in Cina e ciò rende difficile ai paesi occidentali competere sul piano economico. Nello scenario della transizione verde e digitale, la crescente domanda globale di tecnologie sostenibili sta accelerando il consumo di questi materiali. La produzione di auto elettriche, batterie di nuova generazione, reti intelligenti e infrastrutture per le energie rinnovabili ha fatto sì che le terre rare e soprattutto i materiali critici siano divenuti essenziali per il raggiungimento degli obiettivi di transizione ecologica internazionalmente fissati come, ad esempio, il Green Deal europeo e l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. In questo senso, alla luce della scarsità e della vulnerabilità di questi materiali, le economie più avanzate stanno ripensando le loro strategie industriali e tecnologiche. Il settore privato sta svolgendo un ruolo di fondamentale importanza in questa trasformazione in quanto vi sono molte aziende tecnologiche che stanno investendo su delle catene di approvvigionamento meno vulnerabili e più sostenibili.

La sempre crescente domanda di dispositivi elettronici avanzati, inclusi quelli per il 5G e per l'Intelligenza Artificiale, farà sì che vi sia un sensibile aumento della richiesta di germanio, gallio e in parte delle terre rare. In questo scenario il futuro sarà segnato da una combinazione di innovazione tecnologica, diplomazia internazionale e politiche industriali mirate. Gli elementi chiave per garantire una transizione energetica ed economica più equa, sostenibile e meno vulnerabile sono la ricerca di materiali alternativi, lo sviluppo di tecniche di estrazioni meno inquinanti e un rafforzamento della collaborazione tra paesi alleati.

In ogni caso, il bilanciamento di esigenze ambientali, economiche e politiche è essenziale per evitare che la transizione ecologica si trasformi in una nuova forma di dipendenza e di sfruttamento delle risorse da parte di pochi e geopoliticamente potenti attori.

4.3. Semiconduttori e Sanità pubblica

La sfida più visibile e strategicamente maggiormente rilevante è quella tecnologica. Questa non riguarda solo chi produce gli smartphone più veloci o l'IA più avanzata ma chi detiene i mezzi fisici per dominare il futuro. L'hardware veniva considerato come un elemento tecnico secondario rispetto al software e, più in generale, allo sviluppo degli algoritmi. Oggi, però, questo è emerso come una delle principali leve strategiche nella ridefinizione degli equilibri politici globali. Il suo controllo è divenuto una fonte primaria di potere, influenza e vulnerabilità sistemica in grado di modificare sensibilmente i rapporti di forza tra Stati. Per questi motivi, non rappresenta una mera condizione per l'avanzamento tecnologico bensì molto di più.

Come detto in precedenza, la crescente concentrazione della capacità produttiva di semiconduttori nelle mani di un numero ristretto di attori ha creato una vulnerabilità strutturale senza precedenti. Secondo il Center for Strategic and International Studies⁶⁶ oltre il 90% dei chip avanzati, quindi sotto i 7 nanometri, viene prodotto dall'azienda taiwanese TSMC. Oltre alla rilevanza che assume questo dato in termini economici, non è trascurabile la sua cruciale portata geopolitica in quanto l'accesso ai chip si riflette direttamente sulla capacità di uno Stato di operare in settori chiave come Intelligenza Artificiale, la difesa ma anche sanità, comunicazioni e trasporti. In questi termini la competizione tra Stati Uniti e Cina si delinea come un conflitto che vede come obiettivo il controllo dell'infrastruttura fisica dell'innovazione. Laddove Washington attua una strategia di contenimento tecnologico imponendo sanzioni alle esportazioni verso aziende cinesi e stringendo alleanze con partner tecnologicamente strategici, Pechino reagisce con massicci investimenti cercando di rimanere competitiva a tutti i costi.

⁶⁶ Elkus R.Jr., *A Strategy for The United States to Regain its Position in Semiconductor Manufacturing*, Center for Strategic and International Studies, 2024.

In un mondo dove la globalizzazione ha fatto sì che il principio dell'interdipendenza economica venisse a lungo considerato come un fattore di stabilizzazione, il contesto attuale ha fatto emergere una dipendenza asimmetrica da specifici hub produttivi rivelando una fragilità sistemica. Gli stati in grado di controllare questi nodi strategici divengono potenzialmente in grado di esercitare pressioni politiche, economiche e militari. La Cina, imponendo restrizioni alle esportazioni di elementi fondamentali per la produzione di chip e sensori, ha già mostrato l'intenzione di utilizzare le terre rare come uno strumento di leva strategica dimostrando come il controllo delle materie prime e delle fasi di lavorazione dell'hardware sia divenuto un'arma geopolitica non convenzionale in grado di condizionare l'equilibrio globale senza direttamente ricorrere all'uso della forza.

Il controllo dell'hardware è divenuto, quindi, una variabile critica per la stabilità globale e per questi motivi la sua gestione richiederebbe meccanismi di cooperazione e governance multilaterale al fine di evitare che una crisi tecnologica possa degenerare in un conflitto di più ampia portata.

La sanità è uno dei settori più vulnerabili e, allo stesso tempo, più trascurati nel dibattito globale sulla sicurezza tecnologica. In un mondo sempre più interconnesso, la dipendenza dai semiconduttori avanzati diviene un elemento strutturale della salute pubblica in quanto la medicina moderna fa sempre più affidamento su strumenti digitali, piattaforme intelligenti e dispositivi basati su robotica e Intelligenza Artificiale. La carenza, interruzione o blocco politico di forniture di queste tecnologie può comportare degli effetti devastanti sul piano del benessere e sulla sicurezza delle popolazioni.

Le tecnologie digitali, infatti, hanno modificato radicalmente l'organizzazione e l'erogazione delle prestazioni sanitarie. Basti pensare all'adozione crescente di sistemi di diagnostica per immagini basati sull'Intelligenza Artificiale, delle protesi robotiche intelligenti e della connessione delle reti ospedaliere tramite cloud sanitari e edge computing. La nuova medicina, quindi, dipenderà in maniera profonda dai dispositivi dotati di chip avanzati sviluppati per l'elaborazione locale di dati sanitari nonché per il rilevamento precoce di patologie. In questo senso, qualora vi fosse una crisi nella catena di

approvvigionamento di questi elementi, vi sarebbe la compromissione della capacità diagnostica, terapeutica e preventiva di interi sistemi sanitari. La crisi globale dei semiconduttori avvenuta tra il 2020 e il 2022 ha determinato una prima prova tangibile della vulnerabilità legata all'hardware tecnologico del sistema sanitario. Diversi ospedali in molti stati hanno segnalato dei ritardi nelle forniture di apparecchiature diagnostiche, respiratori, monitor cardiaci e pompe per infusione comportando degli impatti diretti anche sull'erogazione delle cure.

La dipendenza da hardware avanzato nel settore della sanità non è un problema astratto e marginale ma un fattore sistemico che espone le persone a rischi concreti qualora vi siano tensioni geopolitiche, guerre commerciali o atti di sabotaggio industriale.

Il controllo geopolitico dell'hardware sta avendo un impatto importante anche sull'ampliamento delle disuguaglianze sanitarie globali in quanto i paesi in via di sviluppo, che già sono in ritardo nella digitalizzazione della sanità, rischiano di rimanere ulteriormente indietro a causa della forte concorrenza sui chip avanzati. I grandi produttori e i principali consumatori, infatti, assorbono quasi totalmente la produzione disponibile lasciando alle economie meno sviluppate l'accesso ad hardware obsoleto, meno efficiente e meno sicuro. Ciò, oltre a limitare le possibilità di innovazione sanitaria nei Paesi più a basso reddito, rende anche più difficile per questi rispondere efficacemente a future crisi sanitarie globali come possibili pandemie, epidemie o emergenze ambientali.

La tecnomedicina, quindi, rischia di creare e rafforzare un sistema sanitario a doppia velocità nel quale solo alcuni Stati riescono a permettersi cure avanzate.

Il Global Health Security Agenda e l'OMS⁶⁷ hanno recentemente avanzato l'ipotesi della creazione di scorte multilaterali di componenti critici condivisi tra stati sul modello delle riserve alimentari e vaccinali. Tuttavia, serve un impegno multilaterale sul piano industriale per non relegare questi propositi a divenire astratti sul piano concreto. Occorre un ripensamento completo delle infrastrutture sanitarie in quanto queste oggi sono

⁶⁷World Health Organization, *Strategic Preparedness and Response Plan 2023–2025*, con annesso su “Critical Medical Hardware Supply Chains”, 2023, pp. 11-13.

digitali, intelligenti e di conseguenza fragili. Ancora una volta, il controllo dei semiconduttori non è solamente un affare tecnologico, militare o geopolitico bensì anche una questione di salute pubblica globale.

L'oncologia medica è uno degli ambiti nei quali l'interdipendenza tra hardware, semiconduttori e Intelligenza Artificiale si è manifestata con maggiore intensità. L'inserimento di sistemi IA nella diagnosi e nel trattamento dei tumori è una delle applicazioni più promettenti della sanità digitale, anche se fortemente vulnerabile in quanto, in questo ambito, la tempestività e la qualità dell'intervento clinico hanno a che fare direttamente con la disponibilità di hardware specializzato che è alimentato da semiconduttori ad alte prestazioni. GPU e TPU in grado di elaborare in tempo reale grandi volumi di immagini mediche ad alta risoluzione sono componenti essenziali per le piattaforme di immagini diagnostiche assistite dall'Intelligenza Artificiale come quelle sviluppate da Siemens Healthineers, Ge Healthcare o startup come Aidoc. Ciò vale anche per le applicazioni di medicina di precisione oncologica in quanto gli algoritmi si trovano a dover processare dati genetici, molecolari e clinici per proporre protocolli personalizzati.

Anche in quest'ambito, la recente crisi dei semiconduttori ha fatto sì che diversi centri oncologici europei e statunitensi sperimentassero ritardi nell'installazione o aggiornamento di piattaforme IA comportando delle ripercussioni sulle tempistiche delle diagnosi e delle terapie. Questa fattispecie sottolinea come la vulnerabilità nella catena di approvvigionamento dell'hardware si traduca in vulnerabilità clinica, in particolare in quei settori in cui il fattore tempo è un elemento critico e la personalizzazione del trattamento assume una rilevanza fondamentale.

4.4. L'alleanza tecnologica tra Cina e Africa

Generalmente quando parliamo di “infrastrutture critiche” intendiamo un elemento, un sistema o una parte di questo, essenziale al mantenimento delle funzioni vitali della società, della salute, della sicurezza e del benessere economico e sociale dei cittadini. Il

danneggiamento o la distruzione di queste avrebbe un impatto significativo in quanto comporterebbe l'impossibilità di mantenere le funzioni vitali del sistema.

In un contesto geopolitico sempre più globalizzato, infrastrutture critiche come reti di trasporto, comunicazione e energia divengono sempre più degli obiettivi strategici e per questo motivo la loro vulnerabilità aumenta. La crescente digitalizzazione e interconnessione globale rendono queste reti bersaglio di attacchi informatici, attacchi di gruppi terroristici o criminali e sabotaggi fisici. Misure come politiche di blocco delle forniture possono compromettere anche la funzionalità di queste infrastrutture comportando delle ripercussioni dirette sulla sicurezza e sull'economia globale.

Molti paesi in via di sviluppo, in particolare nel continente africano, sono ricchi di risorse naturali come terre rare, elementi strategici per la transizione Green-tech e minerali che sono essenziali alla produzione di componenti hardware. D'altro canto, però, la mancanza di infrastrutture adeguate e di capacità tecnologiche all'avanguardia rende questi paesi dipendenti dalle potenze straniere per quanto riguarda l'estrazione e la lavorazione di questi materiali. Questa dipendenza alimenta a sua volta disegualianze economiche. Molti paesi africani hanno fatto ricorso a prestiti esterni per creare delle infrastrutture, quali porti, ferrovie e reti energetiche, in grado di rendere possibile l'estrazione e il trasporto di materie prime e ciò ha creato delle situazioni di vulnerabilità economica in quanto alcune nazioni hanno visto il loro debito pubblico salire oltre il 90% del PIL compromettendo la loro stabilità finanziaria.

In questo contesto la Cina ha assunto un ruolo sempre più centrale ed è emersa come un attore chiave nell'economia e nella politica del continente africano. Essa ha rappresentato, soprattutto, una valida alternativa alle potenze occidentali per le quali rimane ancora oggi molto vivo il risentimento legato all'epoca del colonialismo. Gli ultimi decenni hanno visto un'intensificazione dei legami di Pechino con i paesi africani in quanto il paese asiatico ha investito in maniera significativa in settori strategici come energia, risorse minerarie e infrastrutture. La differenza fondamentale tra Cina e potenze occidentali è che la prima si è affermata come partner alternativo grazie alla promozione

di relazioni basate sulla non-interferenza nelle questioni interne africane. In questo modo è riuscita a consolidare la sua posizione come potenza globale e a favorire la crescita economica dei paesi africani.

La genesi delle relazioni sino-africane è databile a secoli fa ma è solo in epoca moderna che queste hanno preso una forma significativa. A partire dal 1949, data della fondazione della Repubblica Popolare Cinese, Mao Zedong iniziò a tessere dei legami con i movimenti di liberazione africani sostenendo le loro lotte per l'indipendenza. In quel periodo la collaborazione tra Cina e stati africani si basava principalmente sulla solidarietà reciproca e sull'aiuto allo sviluppo. Assume rilevanza in questo scenario la costruzione della ferrovia Tazara completata nel 1975 che collega Tanzania e Zambia e che ha rappresentato un simbolo di solidarietà tra i popoli.

Grazie alle riforme economiche degli anni successivi, la Cina iniziò a cercare nuovi mercati nei quali esportare i suoi prodotti e ciò generò un drastico aumento degli scambi tra Cina e Africa negli anni '90. A partire dagli anni 2000, venne creato un forum sulla cooperazione sino-africana (Forum On China-Africa Cooperation, FOCAC) intensificando ulteriormente le relazioni tra la Cina e l'Africa.

A partire dal 2012, la Cina è divenuta il principale partner commerciale del continente africano e ad oggi è il quinto maggior investitore in Africa. I finanziatori cinesi, pubblici e privati, concedono prestiti ai governi africani al fine di aiutarli a sviluppare delle infrastrutture nel continente. Si stima che dal 2000 al 2022 le banche cinesi abbiano promosso e prestato ai governi africani circa 170 miliardi di dollari per finanziare circa 1250 progetti e infrastrutture come, ad esempio, la ferrovia che collega Addis Abeba al porto di Gibuti in Etiopia e il porto di Lekki in Nigeria.

L'animo cinese, però, non è spinto solo da motivazioni solidaristiche e umanitarie; come in ogni fattispecie geopolitica la componente economica costituisce il motore di queste azioni. Nel 2023 la Cina, infatti, ha esportato in Africa merci per oltre 170 miliardi di dollari importando un corrispettivo di 110 miliardi di dollari. Le esportazioni cinesi riguardano macchinari e molti altri beni prodotti dalle industrie cinesi come cal-

zature, abbigliamento, telefonia e dispositivi elettronici. Le importazioni cinesi, invece, riguardano principalmente materie prime come petrolio, minerali e metalli necessari all'industria cinese. È sostanzialmente il facile accesso alle materie prime africane che spinge molte imprese cinesi ad investire in Africa. Le compagnie cinesi, in particolare, svolgono un ruolo di rilievo nel settore edilizio. Esse sono spesso finanziate da fondi statali cinesi che prestano a loro volta fondi ai governi africani per la realizzazione delle infrastrutture. La condizione è che queste vengano appaltate a imprese cinesi.

Le imprese industriali cinesi in Africa si rivolgono sia al mercato estero, sebbene in misura minore, sia al mercato interno africano. Le imprese che mirano all'esportazione estera di beni prodotti in Africa, producono in Africa al fine di esportare nei paesi ricchi approfittando della riduzione dei dazi applicata ai prodotti provenienti dai paesi in via di sviluppo.

Poiché questo sistema di business è molto fragile, le imprese che si concentrano sul mercato interno africano sono di gran lunga più diffuse. Un esempio di ciò è rappresentato dall'azienda Trasson. Fondata in Cina nei primi anni 2000, essa ha aperto in Etiopia un impianto di produzione di cellulari e ciò ha consentito la soddisfazione della domanda interna di quel bene nello Stato africano. La localizzazione dell'impianto produttivo nel continente ha consentito la produzione di telefoni a basso costo.

In altri termini, le imprese cinesi costituiscono società in patria per poi aprire stabilimenti di produzione in Africa finalizzati alla realizzazione di beni destinati al consumo locale. Questo modello consente di generare benefici sia per le aziende cinesi, che incrementano i propri profitti, sia per i mercati africani, che possono usufruire di beni prodotti localmente a costi sensibilmente inferiori rispetto a quelli importati.⁶⁸

Negli ultimi decenni, quindi, le compagnie cinesi hanno avuto un ruolo di fondamentale importanza nello sviluppo delle infrastrutture africane. Sono via via aumentate le costruzioni di strade, ferrovie, centrali elettriche e impianti di telecomunicazione. Questo miglioramento è stato reso possibile dall'abbondanza di capitale disponibile all'interno del sistema bancario cinese. La crescita economica africana è stata principalmente

⁶⁸ ISPI, *Quali sono gli interessi della Cina nell'Africa del Mediterraneo allargato?*, ISPIonline.it, 2024.

alimentata dalla forte domanda di materie prime e questi tassi di crescita positivi hanno permesso ai paesi del continente di accedere facilmente ai finanziamenti. Sebbene le infrastrutture realizzate abbiano dato un grande contributo al miglioramento della connettività e dell'approvvigionamento energetico, esse sono state oggetto di critiche per le ripercussioni sociali e ambientali che hanno comportato. La loro costruzione, infatti, ha causato espropri forzati e la deforestazione di ampie aree boschive, con conseguente perdita di habitat naturali. Questo fa sì che la presenza cinese in Africa susciti apprezzamenti ma anche critiche. Se da un lato vi è l'apprezzamento dell'approccio pragmatico e della tattica cinese della non ingerenza negli affari interni degli stati africani, dall'altro emergono pesanti critiche legate al rispetto dei diritti dei lavoratori e ai danni ambientali relativi all'accaparramento delle risorse. Vi sono, poi, anche alcune accuse di "neocolonialismo cinese" che evidenziano l'esistenza di accordi squilibrati che favoriscono Pechino a discapito delle comunità locali.

Il Forum sulla Cooperazione Cina-Africa (FOCAC) istituito nel 2000 è il principale canale di dialogo tra Cina e Africa. Nel 2024, nel corso del nono summit, la Cina ha annunciato l'eliminazione dei dazi sulle importazioni dai 33 Stati africani più poveri e l'introduzione di nuovi investimenti nel settore agricolo, farmaceutico e infrastrutturale. È stato inoltre annunciato un nuovo pacchetto di aiuti e investimenti dal valore di 51 miliardi di dollari, che vede la conferma dell'impegno cinese per un'intensificazione della cooperazione bilaterale.

La Cina ha, quindi, consolidato la sua posizione dominante nel mercato della produzione e lavorazione delle terre rare influenzando significativamente le catene di approvvigionamento globali. Grazie a degli investimenti strategici in Africa essa è stata in grado di assicurarsi risorse minerarie critiche rafforzando ulteriormente il suo controllo su materiali essenziali per l'industria tecnologica. La crescente dipendenza dell'industria tecnologica globale da terre rare e minerali critici ha fatto sì che l'Africa divenisse un nodo strategico per la Cina la quale, grazie ad investimenti mirati, è riuscita a farsi spazio e a consolidare la sua presenza nel continente riuscendo a controllare gran parte del-

la catena di approvvigionamento dei materiali necessari alla produzione di microchip e tecnologie avanzate.

Il caso delle relazioni sino-africane rappresenta un chiaro esempio di come le dinamiche economiche, politiche e tecnologiche siano profondamente intrecciate nell'era della globalizzazione.

4.5. Sviluppo tecnologico dei Paesi emergenti

Nell'attuale contesto di trasformazione digitale e transizione energetica, semiconduttori, terre rare, tecnologie avanzate e Intelligenza Artificiale sono divenuti elementi imprescindibili per l'economia globale. Le multinazionali, in particolare quelle operanti nei settori dell'elettronica e dell'estrazione mineraria, rivestono un ruolo centrale nell'organizzazione delle catene di approvvigionamento e influenzano gli equilibri di potere economico e geopolitico.

Negli ultimi anni è emersa una tendenza che mira ad una maggiore autonomia dei paesi in via di sviluppo. L'India sta impegnando ingenti risorse per lo sviluppo della propria autonoma industria di semiconduttori al fine di divenire uno dei principali produttori mondiali nel prossimo futuro. Iniziative come il programma Production-Linked Incentive (PLI)⁶⁹ mirano ad attirare investimenti esteri nonché a sviluppare una catena di approvvigionamento locale per i semiconduttori in modo da ridurre quanto meno la dipendenza locale dalle multinazionali straniere. Grazie ad una serie di iniziative promosse dal governo a sostegno della ricerca e della crescita del settore, l'India si sta affermando come hub strategico per lo sviluppo e l'adozione dell'Intelligenza Artificiale. Questo potrebbe rappresentare un'importante opportunità per i paesi in via di sviluppo in quanto favorisce la riduzione del divario tecnologico e promuove una crescita economica più inclusiva. Molti altri paesi in via di sviluppo, inoltre, stanno adottando delle

⁶⁹ Il PLI è un programma lanciato dal governo indiano nel 2020 che si pone come obiettivo l'incentivazione della produzione domestica in settori strategici.

politiche che mirano all'aumento del valore aggiunto delle loro risorse naturali attraverso la trasformazione in loco. Lo Zimbabwe, ad esempio, ha imposto delle restrizioni per quanto riguarda l'estrazione di litio non lavorato con l'obiettivo di incentivare la lavorazione interna e di stimolare l'industria locale generando nuove opportunità lavorative.

La Cina ha consolidato una posizione dominante nel mercato dei minerali strategici e delle terre rare, arrivando a controllare oltre l'80% della produzione mondiale di questi elementi fondamentali per la realizzazione di dispositivi tecnologici avanzati quali smartphone, veicoli elettrici e sistemi di difesa. Ha ottenuto questa sua supremazia grazie ad una moltitudine di investimenti strategici in paesi ricchi di risorse come il Congo per quanto concerne il cobalto e l'Indonesia per quanto riguarda il nichel. Spiccano anche le ingenti politiche di esternalizzazione dell'industria mineraria verso nazioni con normative ambientali meno stringenti come, ad esempio, in Myanmar.

Allo stesso tempo, multinazionali come la taiwanese TSMC, la coreana Samsung Electronics e l'olandese ASML dominano la produzione concreta dei semiconduttori i quali, come già detto, sono dei componenti fondamentali per l'infrastruttura hardware che supporta l'Intelligenza Artificiale. Per i paesi in via di sviluppo, l'attuale configurazione dell'ordine mondiale, con particolare riferimento alla catena di approvvigionamento di componenti per l'elettronica, rappresenta sia sfide che importanti opportunità. Se da un lato la dipendenza da multinazionali straniere per l'estrazione e la lavorazione di risorse minerarie e naturali può comportare l'allargamento delle diseguaglianze economiche esistenti e limitare lo sviluppo autonomo degli stati africani, dall'altro lato gli investimenti in infrastrutture, formazione, trasferimento tecnologico e energia possono favorire una maggiore autonomia e resilienza degli stati più poveri. Un esempio concreto è dato dalle collaborazioni internazionali avviate dal Vietnam per mappare le proprie risorse di terre rare e materiali strategici e, quindi, attrarre investimenti di qualità per ridurre la dipendenza dalle importazioni cinesi.⁷⁰ L'adozione di tecnologie sostenibili alternative può contribuire a diversificare le fonti di approvvigionamento e a ridurre i

⁷⁰ Instituteofenergyresearch.org., *Biden Encourages Rare Earth Investment in Vietnam*, Instituteofenergyresearch.org, 2024.

⁷¹ Mining.com, *Inside Vietnam's plans to dent China's rare earths dominance*, Mining.com, 2024.

rischi associati alla concentrazione di mercato. Vengono in rilievo, nello specifico, le iniziative intraprese da Tesla e Toyota miranti allo sviluppo di motori elettrici senza l'ausilio di terre rare.⁷²

Per ridurre la dipendenza cinese e promuovere una maggiore resilienza delle supply chains, diversi paesi e aziende hanno destinato risorse allo sviluppo di opzioni alternative. La General Motors e Stellantis, ad esempio, hanno investito in Nitro Magnetics, una start-up specializzata nello sviluppo di magneti permanenti privi di terre rare. L'obiettivo è ridurre la dipendenza dalle risorse cinesi e limitare l'utilizzo cinese del potere minerario come strumento di pressione nelle relazioni internazionali.

Per promuovere uno sviluppo equo e sostenibile, è necessario che i paesi in via di sviluppo adottino politiche che mirino all'incentivazione della creazione di filiere locali, alla valorizzazione delle risorse naturali e al rispetto dei diritti umani e ambientali. Con un approccio integrato e collaborativo potrebbe configurarsi la possibilità di costruire un futuro tecnologico inclusivo e resiliente nel quale le imprese multinazionali si pongono come partner responsabili e non più come attori dominanti.

⁷² Barber, G., *Tesla dice addio alle terre rare*, Wired Italia, 3 maggio 2023.

5. La Visione del Futuro e le Sfide da Affrontare

5.1. La decentralizzazione della produzione hardware è possibile?

La decentralizzazione della produzione della componente hardware nel settore dei semiconduttori rappresenta una sfida strategica di cruciale importanza per l'Unione Europea in un contesto di crescente competizione globale e tensione geopolitica. Al momento, la produzione di chip avanzati è prettamente concentrata in Asia, con Taiwan e Cina che detengono un ruolo dominante nel settore. Come già evidenziato, TSMC e Samsung ad oggi risultano tra i principali produttori mondiali di semiconduttori. L'Unione Europea detiene una quota di mercato complessiva di circa il 10% e solo il 6% nei segmenti dell'informatica della comunicazione⁷³. Per affrontare questa dipendenza, l'Unione Europea ha lanciato nel settembre 2023 il Chips Act europeo⁷⁴ il quale si pone l'obiettivo di raddoppiare la quota di mercato dell'UE nei semiconduttori al 20% entro il 2030. Il piano comprende investimenti per oltre 100 miliardi di euro per sostenere lo sviluppo di tecnologie avanzate e l'innovazione nel settore. Un rapporto recente della Corte dei Conti europea ha, però, sollevato dubbi sulla concreta realizzabilità di questi obiettivi evidenziando problemi come l'insufficienza dei fondi rispetto agli investimenti globali, la totale mancanza di coordinamento tra gli Stati membri e la carenza di manodopera qualificata.

Nonostante vi siano delle sfide importanti, l'Europa possiede anche delle risorse strategiche significative. L'azienda olandese ASML, infatti, detiene il monopolio della produzione delle macchine litografiche essenziali a fabbricare i chip più avanzati. Inoltre, progetti come il Digital Autonomy with RISC-V in Europe (DARE) mirano a sviluppare

⁷³ Commissione europea, *Analisi approfondite dei settori strategici per gli interessi dell'Europa*, 2021.

⁷⁴ Agenda Digitale, *Chips Act: USA e UE, così simili e così diversi: quanto si investe, le strategie e le paure*, AgendaDigitale.eu, 2024.

processori RISC-V⁷⁵ per super computer e promuovono un'architettura open-source la quale consente al continente europeo di sviluppare delle tecnologie indipendenti. È fondamentale sottolineare che l'Europa sta cercando di attirare investimenti esterni al fine di potenziare la propria capacità produttiva, riscuotendo un certo successo in questo intento. La taiwanese TSMC, ad esempio, sta costruendo in collaborazione con Bosch, Infineon e NXP, una fabbrica a Dresda, in Germania. INTEL, invece, ha annunciato nuovi piani per la costruzione di nuovi stabilimenti a Magdeburgo al momento tuttavia rimandati a tempi migliori.

Se il fatto che potenti multinazionali stiano investendo in Europa appare come una svolta positiva per il continente, la concentrazione di questi investimenti solamente in pochi paesi europei, come Germania, solleva preoccupazioni sulla distribuzione equa delle risorse. La decentralizzazione della produzione dell'hardware in Europa, quindi, è possibile qualora vi sia un impegno coordinato e sostenuto. È di fondamentale importanza in questo senso aumentare gli investimenti, migliorare la formazione della manodopera specializzata, promuovere la ricerca e l'innovazione tecnologica e garantire una equa redistribuzione delle risorse tra gli Stati membri dell'Unione Europea. Grazie ad un approccio integrato e strategico, l'Europa potrà ridurre la sua dipendenza da Taiwan e Cina e affermarsi come attore competitivo nella produzione mondiale di semiconduttori.

Il futuro della catena di approvvigionamento dei semiconduttori sta subendo una profonda trasformazione guidata da innovazioni tecnologiche, tensioni geopolitiche e nuove strategie industriali. Gli obiettivi di questi cambiamenti sono rendere la filiera più resiliente, sostenibile a livello economico-ambientale e meno dipendente da specifiche aree geografiche. Viste le recenti interruzioni di rifornimenti avvenute durante la pandemia o per colpa di tensioni commerciali tra paesi, molte aziende stanno attuando strategie di “friendshoring” spostando, quindi, la produzione in paesi alleati e politicamente

⁷⁵ Sono chips basati seguendo regole aperte e gratuite. Grazie a queste caratteristiche chiunque può usarle o modificarle al fine di creare chip su misura senza dover pagare diritti o licenze alle grandi aziende (come INTEL)

stabili. In questo contesto, il Texas e l'Arizona negli Stati Uniti stanno divenendo centri chiave della produzione di semiconduttori grazie ai massicci investimenti effettuati da colossi come INTEL e TSMC. D'altro canto, però, la carenza di manodopera qualificata e gli elevati costi di produzione si impongono come sfide significative per questi progetti⁷⁶ sebbene l'elevata automazione degli impianti riduca il peso del costo della manodopera sul costo del prodotto finale.

Le nuove ed emergenti tecnologie stanno apportando una rivoluzione alla produzione e alla gestione della supply chain dei semiconduttori. L'Intelligenza Artificiale viene utilizzata per prevedere le interruzioni della catena e per ottimizzare la logistica. Allo stesso modo, Sentrisk e Nvidia Earth-2 ⁷⁷ divengono uno strumento utile alle aziende per mappare i rischi climatici e prendere decisioni informate. Si stanno, poi, sviluppando soluzioni basate su blockchain al fine di garantire la tracciabilità e la sicurezza dei componenti. L'integrazione di chipset e l'adozione di tecniche di packaging avanzato stanno migliorando le prestazioni e l'efficienza energetica dei semiconduttori. Infine, per ridurre la dipendenza da materiali rari e costosi si stanno ricercando materiali più sostenibili e abbondanti, come titanio e alluminio.

Nonostante vi siano stati dei progressi, permangono delle importanti sfide. Le tensioni tra Cina e Stati Uniti hanno comportato delle restrizioni alle esportazioni di componenti tecnologiche avanzate e know-how spingendo la Cina ad investire in tecnologie alternative come i chip fotonici e neuromorfici. Anche le preoccupazioni ambientali giocano un ruolo sempre più rilevante, influenzando le decisioni di localizzazione della produzione e orientando le strategie verso la riduzione dell'impronta di carbonio e ad un utilizzo responsabile delle risorse.

Il futuro della catena di approvvigionamento dei semiconduttori dovrà affrontare una maggiore decentralizzazione, innovazioni tecnologiche avanzate e una crescente attenzione alla sostenibilità ambientale. Aziende e governi dovranno sapersi adeguare rapidamente a questi cambiamenti per affrontare al meglio le sfide e coglierne le opportunità. La trasformazione di questa catena rappresenta una sfida pur essendo allo stesso

⁷⁶ Campbell, C., *How "Friendshoring" Made Southeast Asia Pivotal to the AI Revolution*, TIME, 27 agosto 2024.

⁷⁷Sentrisk è una piattaforma di sicurezza informativa basata sull'Intelligenza Artificiale e serve alla valutazione dei rischi. Nvidia Earth-2 è un gemello digitale del pianeta sviluppato per simulare con l'IA il cambiamento climatico.

tempo un'importantissima opportunità per l'Unione Europea. La crescente presa di consapevolezza dei rischi legati alla dipendenza geografica ed economica e le tensioni geopolitiche stanno spingendo verso modelli più resilienti, autonomi e sostenibili. D'altro canto, però, se questi sforzi saranno efficaci o no dipende dalla capacità europea di agire in modo coordinato, con una visione strategica comune e sorpassando le frammentazioni interne.

Il Chips Act europeo è un primo ambizioso passo. Questo, però, necessita di un rafforzamento in termini di governance, finanziamenti, formazione professionale e sinergia tra pubblico e privato. Se l'Europa riuscirà a valorizzarsi, a colmare i gap strutturali e a rafforzare la sua autonomia strategica, sarà in grado di porsi come attore centrale nella nuova architettura della balance of power.

5.2. La collaborazione internazionale: una soluzione realistica?

Una maggiore cooperazione globale nel settore della tecnologia e dell'Intelligenza Artificiale potrebbe comportare sia dei rischi sia dei grandi vantaggi. L'accesso a risorse critiche condiviso consentirebbe ai Paesi con scarse capacità produttive di accedere più facilmente a chip avanzati, materiali strategici e tecnologie essenziali grazie ad alleanze strategiche. Inoltre, la collaborazione permetterebbe la creazione di regolamentazioni condivise su etica dell'IA, sulla tracciabilità dei componenti e sulla sicurezza dei sistemi. Questo consentirebbe, quindi, l'implementazione di standard internazionali comuni.

Con una maggiore collaborazione tra gli Stati, diverrebbe possibile una sensibile riduzione dalle dipendenze unilaterali in quanto la creazione di un network globale renderebbe le filiere meno vulnerabili agli shock locali come disastri naturali e guerre commerciali. Infine, l'accelerazione dell'innovazione consentirebbe uno sviluppo più rapido e inclusivo delle tecnologie di Intelligenza Artificiale, grazie alla condivisione della ricerca tra università, aziende e governi. D'altro canto, però, non si possono escludere possibili sviluppi negativi. Le tensioni tra le grandi potenze rischiano di minare la fidu-

cia reciproca, favorendo le restrizioni alle esportazioni di tecnologie. In questo scenario, le nazioni più influenti possono dominare le scelte tecnologiche generali. Ciò comporta il rischio concreto che si venga a creare una pericolosa asimmetria di potere. Ne deriverebbe il pericolo che i paesi con minori risorse o inferiori capacità produttive vengano deliberatamente esclusi dai processi di innovazione e sviluppo. Infine, la condivisione di know-how e tecniche produttive critiche può amplificare il rischio legato al furto di proprietà intellettuale e di utilizzo non pacifico dell'IA. Tali dinamiche sollevano preoccupazioni importanti in termini di sicurezza e aumentano il rischio di spionaggio industriale.

In questo scenario, anche le organizzazioni internazionali rivestono un ruolo importante. Enti come l'ONU, il WTO, l'OCSE e l'UE possono favorire l'elaborazione di trattati internazionali e accordi volti a garantire la trasparenza delle supply chain, l'accesso equo ai semiconduttori e uno sviluppo etico dell'Intelligenza Artificiale. Il G7 e il G20 possono svolgere una funzione di ponte di dialogo tra principali blocchi economici favorendo la cooperazione internazionale e il dialogo. Recentemente, queste sedi hanno discusso con sempre maggiore frequenza riguardo a temi cruciali come la regolamentazione dell'IA e la sicurezza della tecnologia.

In particolare, il G7 ha rilevato la necessità di una "IA affidabile"⁷⁸ e ha sostenuto principi come trasparenza, responsabilità, inclusività e sicurezza attraverso iniziative come il "Hiroshima AI process"⁷⁹. Questa mira a delineare delle linee guida comuni tra i Paesi al fine di garantire uno sviluppo dell'Intelligenza Artificiale rispettoso dei diritti umani e delle normative condivise.⁸⁰

Allo stesso modo, il G20 ha posto maggiore attenzione sulla dimensione fondamentale della resilienza delle supply chains globali in quanto ha riconosciuto la loro vulne-

⁷⁸ Dipartimento per la trasformazione digitale, *G7: il comunicato congiunto della riunione ministeriale su Tecnologia e Digitale*, [innovazione.gov.it](https://www.innovazione.gov.it), 15 ottobre 2024.

⁷⁹ Iniziativa lanciata dal G7 nel 2023 al fine di promuovere una governance internazionale dell'IA basata su valori condivisi quali trasparenza, sicurezza, diritti umani e innovazione responsabile. Vuole la creazione di principi e linee guida comuni sull'uso dell'IA avanzata e generativa.

⁸⁰ MIMIT, *Consenso G7 raggiunto sull'avanzamento dell'IA per lo sviluppo sostenibile*, [MIMIT.gov.it](https://www.mimit.gov.it), 2024.

rabilità di fronte a shock politici, sanitari e ambientali.⁸¹ È stata rilevata l'urgenza di rafforzare la cooperazione internazionale per garantire un accesso più equo alle tecnologie critiche e alle infrastrutture digitali.⁸² Tuttavia, ai buoni propositi non hanno fatto seguito l'adozione di accordi con carattere vincolante⁸³ in quanto permangono delle forti divergenze di carattere politico ed economico tra i membri che rendono difficile un coordinamento su temi sensibili.⁸⁴

Infine, iniziative come il “Chip 4” tra Stati Uniti, Corea del Sud, Giappone e Taiwan si dimostrano come chiari tentativi di costituzione di alleanze hardware selettive. Queste, però, rischiano di escludere altri Paesi e, soprattutto, di aumentare le tensioni internazionali.

Rimane da chiedersi, quindi, quanto sia concretamente possibile la realizzazione di una cooperazione internazionale stabile e duratura nell'attuale contesto internazionale, il quale è caratterizzato da crescenti rivalità strategiche e dove la corsa alla supremazia tecnologica tra le grandi potenze rischia di recidere sul nascere qualsiasi sforzo multilaterale.

Guardando al futuro, è di fondamentale importanza costruire meccanismi di fiducia reciproca e trasparenza tecnologica. L'incentivazione della partecipazione dei paesi emergenti, la distribuzione equa dei benefici dell'innovazione, la creazione di consorzi internazionali pubblici e privati, l'adozione di codici etici condivisi e la promozione degli scambi accademici sono degli strumenti cruciali per favorire una governance multilaterale dell'IA.

In conclusione, la cooperazione internazionale nel campo dell'IA e della supply chain dei semiconduttori rappresenta una sfida complessa e inevitabile. L'interdipen-

⁸¹ Dipartimento per la trasformazione digitale, *G7: il comunicato congiunto della riunione ministeriale su Tecnologia e Digitale*, [innovazione.gov.it](https://www.innovazione.gov.it), 15 ottobre 2024.

⁸² *G20 Ministerial Declaration*: 13 September 2024, GOV.UK, 14 settembre 2024.

⁸⁴ Digital Watch Observatory, *New Delhi G20 Leaders' Declaration*, settembre 2023. *G20 Ministerial Declaration*: 13 September 2024, GOV.UK, 14 settembre 2024.

denza delle economie, la crescente importanza strategica di questa nuova tecnologia e la natura transnazionale insita nelle innovazioni tecnologiche fanno sì che sia obbligatoria la costruzione di un quadro regolatorio e operativo multilivello, inclusivo e sostenibile.

Nonostante esistano forti ostacoli come la competizione geopolitica e l'asimmetria nella redistribuzione delle risorse, è solo grazie ad un approccio collaborativo, multilaterale e trasparente che diverrà possibile coniugare progresso tecnologico, sicurezza e giustizia globale. È compito della comunità internazionale immaginare e costruire un modello di sviluppo equo e orientato al bene comune.

5.3. Etica e regolamentazione dell'IA

La protezione dei dati personali e il rispetto della privacy sono divenute negli ultimi anni tematiche centrali nel dibattito pubblico e politico. Scandali come Cambridge Analytica e come quello che ha coinvolto Tesla hanno evidenziato come la gestione dei dati da parte delle aziende sia vulnerabile e ciò ha spinto attori come l'Unione Europea ad attivarsi per normare la materia.

Nello specifico, nel 2010 emerse che la società britannica Cambridge Analytica aveva raccolto i dati di circa 87 milioni di utenti Facebook senza il loro consenso. Grazie all'app "This Is Your Digital Life" sviluppata dal ricercatore Aleksandr Kogan la società è stata in grado di raccogliere questi dati che poi sono stati utilizzati per influenzare campagne politiche come le elezioni presidenziali statunitensi del 2016 che hanno visto la vittoria di Donald Trump e il referendum sull'uscita del Regno Unito dall'Unione Europea. Grazie a questi dati, ottenuti senza un consenso informato da parte degli utenti, l'azienda è stata in grado di creare pubblicità politiche mirate e di influenzare le opinioni degli elettori. Il 18 marzo 2018, dopo la denuncia del The New York Times, Facebook ha risposto bandendo Cambridge Analytica dalla pubblicità della piattaforma. Tuttavia, il The Guardian ha riferito che Facebook sapesse di questa violazione della sicurezza da due anni ma che per motivi legati ai profitti e per negligenza non fece nulla per proteggere i suoi utenti.

Lo scandalo ha comportato indagini e procedimenti legali che hanno portato alla caduta dell'azienda e la sua acquisizione da parte di una nuova società, Emendata Limited, oltre ad una multa di 5 miliardi di dollari da parte della Federal Trade Commission negli stati Uniti e una sanzione di 1 milione di euro⁸⁵ dal Garante per la protezione dei dati personali in Italia⁸⁶. Questo episodio ha avuto conseguenze di vasta portata in quanto ha sollevato un dibattito sull'uso dei dati personali nelle campagne politiche e su come la tecnologia sia in grado di influenzare i risultati politici.⁸⁷

Questo episodio, purtroppo, non è stato il solo caso di violazione dei dati personali. Tra il 2019 e il 2022 alcuni dipendenti Tesla hanno condiviso video e immagini registrati senza consenso dalle telecamere contenute all'interno delle auto dei clienti. Questi contenuti includevano scene di vita privata come momenti intimi, famigliari e di vita domestica. L'inchiesta ha sollevato, anche in questo caso, grandi preoccupazioni riguardanti la gestione dei dati raccolti dalle auto intelligenti portando a numerose cause legali contro l'azienda.

Sempre nel 2019, è emerso che il noto produttore di software antivirus Avast raccoglieva dati dettagliati sulla navigazione web degli utenti grazie alle sue estensioni software. Oltre alla raccolta, procedeva poi con la vendita dei dati tramite la consociata jumposhot. Questa operazione coinvolse circa 100 milioni di dispositivi e l'avvio delle indagini da parte dell'autorità ceca per la protezione dei dati personali ha comportato la chiusura di Jumpshot nel gennaio dell'anno seguente.⁸⁸ Nel 2020, poi, H&M a causa della raccolta non autorizzata di informazioni personali sui dipendenti, inclusi stato di salute e vita privata, è stata multata per 35 milioni di euro dall'autorità tedesca per la

⁸⁵ Garante per la protezione dei dati personali, *Cambridge Analytica: Facebook fined 1 million Euro by the Italian Dpa*, GarantePrivacy.it, 2019

⁸⁶ Valsania, M., *Facebook, multa record da 5 miliardi. Violata la privacy nel caso Cambridge Analytica*, Il Sole 24 Ore, 12 luglio 2019.

⁸⁷ ANSA, *Garante privacy multa 1 mln a Facebook per Cambridge Analytica*, ANSA.it, 28 giugno 2019.

⁸⁸ D'Elia, D., *L'antivirus Avast raccoglie i dati degli utenti e li vende alle aziende*, La Repubblica, 30 gennaio 2020.

protezione dei dati in quanto queste informazioni venivano utilizzate ai fini di valutazioni lavorative, cagionando una grave violazione della privacy dei lavoratori.⁸⁹

Anche Google non è rimasta indenne da critiche per pratiche discutibili riguardanti la privacy⁹⁰. Tra queste ricordiamo la raccolta dati tramite il servizio Street View e la combinazione di dati di navigazione con informazioni personali per proporre pubblicità mirata, e quindi più efficace. Nel 2012, sempre la Federal Trade Commission degli Stati Uniti ha propinato una multa a Google per 22,5 milioni di dollari per aver ingannato gli utenti Safari riguardo alle impostazioni sulla privacy.⁹¹

Google DeepMind, poi, ha collaborato con il NHS al fine di creare un sistema di Intelligenza Artificiale per la diagnosi medica ma nel corso dello sviluppo ha condiviso dati sensibili dei pazienti senza il loro esplicito consenso. Ciò ha sollevato preoccupazioni sull'utilizzo dei dati sanitari da parte di aziende tecnologiche.⁹²

Negli ultimi anni anche l'azienda OpenAI è stata protagonista di numerose polemiche riguardanti la protezione dei dati personali sollevando preoccupazioni tra gli utenti e tra le autorità di regolamentazione; prima fra tutte l'Unione Europea.

Nel marzo del 2023 un errore tecnico ha consentito ad alcuni utenti di visualizzare delle conversazioni nonché i dati di pagamento di alcuni utenti e l'azienda dietro a ChatGPT è stata criticata per non essere stata in grado di notificare prontamente l'incidente alle autorità. All'inizio dello stesso anno, poi, un hacker è riuscito ad aver accesso ad una piattaforma di messaggistica interna dei dipendenti OpenAI⁹³ sollevando dubbi sulla sicurezza interna dell'azienda stessa. Nel dicembre 2024 il Garante della protezione dei dati personali italiano ha sanzionato l'azienda rilevando delle violazioni del GDPR come il trattamento non trasparente dei dati, l'assenza di base giuridica nonché l'assenza della verifica anagrafica degli utenti. Pochi mesi fa, nel marzo del 2025, Ope-

⁸⁹ D'Elia, D., *H&M, multa da 35 milioni in Germania: "Spiava i dipendenti"*, La Repubblica, 1 ottobre 2020.

⁹⁰ ANSA, *Google sospende l'IA per immagini, errori storici e inaccuratezza*, ANSA.it, 22 febbraio 2024

⁹¹ Arthur C., *Google fined by FCC over Street View*, The Guardian, 16 aprile 2012.

⁹² Hern A., *Royal Free breached UK data law in 1.6m patient deal with Google's DeepMind*, The Guardian, 3 luglio 2017.

⁹³ CSO, *OpenAI failed to report a major data breach in 2023*, CSOnline.com, 8 luglio 2024.

nAI è stata denunciata da diverse testate giornalistiche canadesi le quali hanno accusato l'azienda di raccogliere contenuti protetti da copyright al fine di addestrare i suoi modelli senza previa autorizzazione.⁹⁴

Questi scandali hanno acceso un dibattito pubblico sull'importanza della tutela della privacy e sulla necessità di una regolamentazione più rigorosa e attenta delle attività delle aziende tecnologiche. In molti hanno espresso preoccupazione per la mancanza di trasparenza e per l'uso improprio che viene fatto da parte di diversi attori dei dati personali degli utenti. In risposta a queste problematiche, l'Unione Europea ha introdotto nel 2018 il Regolamento Generale sulla protezione dei Dati (GDPR) nel quale vengono stabilite norme rigorose per la raccolta, elaborazione e conservazione dei dati personali rafforzando i diritti degli individui. Inoltre, questo provvedimento stabilisce i principi fondamentali per il trattamento dei dati personali che comprendono la trasparenza, il consenso esplicito e il diritto all'oblio. Questo, poi, impone alle aziende obblighi rigorosi come la notifica tempestiva delle violazioni dei dati e la nomina di un responsabile aziendale della protezione dei dati. Tuttavia, nonostante questo importante provvedimento intrapreso dall'Unione Europea, vi sono state numerose violazioni in ambito tecnologico e ciò dimostra come anche normative avanzate possano essere di difficile applicazione pratica, a maggior ragione di fronte alla rapida evoluzione tecnologica. Per mantenere la fiducia degli utenti è essenziale che le aziende si conformino alle normative vigenti e adottino pratiche trasparenti e responsabili nella gestione dei dati. Le violazioni avvengono perché AI, machine Learning e Big data evolvono più rapidamente di quanto lo faccia la regolamentazione e, spesso, molte fattispecie si inseriscono in un limbo legale difficile da inquadrare. Inoltre, avendo la sede al di fuori dall'Unione Europea, molte aziende sfuggono all'applicazione delle sanzioni. È importante sottolineare che molto spesso la mole dei casi è di gran lunga maggiore rispetto alle risorse a disposizione delle autorità garanti nazionali.

⁹⁴ The Washington Times, *Canadian news publishers sue OpenAI over alleged copyright infringement*, WashingtonTimes.com, 29 novembre 2024.

L'efficacia del GDPR è odierno argomento di discussione in quanto alcuni lo considerano come modello globale e altri ne criticano la lentezza delle indagini e la sproporzione tra infrazioni e sanzioni. Per colmare le lacune del regolamento è stato proposto l'AI Act la cui implementazione è prevista entro il 2026. Questo atto mira a colmare alcune lacune del GDPR introducendo categorie di rischio, valutazioni d'impatto obbligatorie e obblighi specifici per i sistemi di Intelligenza Artificiale ad alto rischio. L'IA art è destinato a divenire la prima legge al mondo dedicata interamente alla regolamentazione dell'uso dell'Intelligenza Artificiale e mira a garantire sviluppo, diffusione e utilizzo sicuro dei sistemi nel rispetto dei diritti fondamentali, della democrazia e dello Stato di diritto. Stati Uniti, Canada e Giappone stanno osservando attentamente l'evoluzione del regolamento europeo al fine di ispirare le proprie normative interne e per questo motivo l'AI Act potrebbe divenire un modello di riferimento internazionale.

L'attuale diffusione dell'Intelligenza Artificiale è alimentata dalla disponibilità di grandi quantità di dati assieme all'aumento della potenza di calcolo e della connettività. Uno dei fondamenti della politica europea è mettere a disposizione di una vasta gamma di utenti a livello transfrontaliero dati sicuri, solidi e di qualità⁹⁵.

L'ampia diffusione delle tecnologie digitali e dell'IA pone delle questioni di non sola rilevanza giuridica e legislativa bensì anche profondamente etiche. Il tema della protezione dei dati personali si spinge oltre al solo rispetto normativo in quanto tocca il centro dei diritti fondamentali dell'individuo tra cui la sua libertà di scelta e la sua dignità.

La capillare estensione delle tecnologie digitali e dell'IA comporta anche dei rischi che molto spesso sono sottovalutati. Questi si manifestano sotto forma di sorveglianza di massa sempre più sofisticata e invisibile. L'utilizzo di sistemi predittivi da parte di assicurazioni, banche e enti pubblici solleva delle domande sulla profilazione automatica e sulle possibili discriminazioni algoritmiche. Ad esempio, il riconoscimento facciale impiegato in contesti sia pubblici che commerciali rischia di tramutare in ambiente controllato e tracciato ciò che è lo spazio pubblico. A questo si aggiungono i wearables, che

⁹⁵ Finocchiaro, G, *Intelligenza Artificiale e protezione dei dati personali*, 2019, pp.1672-1673.

sono dispositivi come smartwatch e sensori biomedici che sono in grado di raccogliere dati su abitudini, salute e comportamenti 24 ore su 24 creando profili molto dettagliati e difficilmente controllabili dagli utenti. Questo comporta delle ripercussioni importanti per la libertà individuale al quale si è aggiunto un acceso dibattito sul dilemma del copyright nell'epoca dell'Intelligenza Artificiale generativa. In questo contesto, molte aziende che sviluppano modelli visuali e linguistici usano molti contenuti testuali, musicali o visivi senza alcuna autorizzazione esplicita finendo, quindi, per sfruttare opere coperte da diritti per l'addestramento dei sistemi commerciali. Questo crea difficoltà al sistema normativo che si trova dinnanzi al dilemma libertà di ricerca e tutela del lavoro intellettuale.

Una delle sfide più insidiose degli ultimi anni è rappresentata dalla possibilità di essere tracciati, profilati, schedati, manipolati, spiati ed esclusi da processi decisionali a causa di algoritmi opachi. L'obiettivo non può e non deve essere la sola "regolamentazione" dell'innovazione ma deve guardare ad una "umanizzazione" di questa affinché sia l'uomo a servire la tecnologia e non viceversa. Si pone la necessità di costruire un modello nel quale l'innovazione sia compatibile con la tutela dei diritti, la trasparenza e la giustizia sociale. Il futuro digitale responsabile richiede scelte politiche coraggiose e un impegno congiunto tra istituzioni aziende, comunità scientifica e cittadini.

5.4. La creazione di un sistema mondiale sostenibile

La sostenibilità ambientale e sociale dell'intero ecosistema tecnologico è un elemento sempre più centrale nel dibattito sul futuro dell'Intelligenza Artificiale. Esso si aggiunge alle questioni legate alla decentralizzazione della produzione e alla cooperazione internazionale. L'estrazione di terre rare e materiali critici, unita al consumo idrico ed energetico nei processi industriali ai fini della produzione di semiconduttori, comporta un notevole impatto ambientale. A ciò si somma anche il crescente fabbisogno energetico necessario all'addestramento dei sempre più complessi modelli IA. L'intera filiera legata all'IA contribuisce così all'aumento dell'impronta carbonica globale.

In questo contesto, nel quale diviene prioritario costruire un sistema globale sostenibile, le politiche pubbliche orientate alla promozione della “Green AI” giocano un ruolo cruciale. Queste si riferiscono a modelli e infrastrutture ad alta efficienza energetica e allo sviluppo di efficaci pratiche di riciclo e riutilizzo dei materiali, con particolare riferimento al settore dell’hardware.

Lo sviluppo dell’IA non può escludere una critica riflessione sulla sostenibilità energetica e ambientale che accompagna la sua crescita. In un’epoca segnata dall’evidente crisi climatica e dalla scarsità di risorse, l’adozione di avanzate tecnologie deve tenere conto dei principi della transizione ecologica. Una riconsiderazione del modello di sviluppo dominante appare essenziale vista la crescente domanda energetica per l’alimentazione delle infrastrutture informatiche, dei data center e dei sistemi IA.

In questo contesto si fa strada anche il modello della “decrescita”, teorizzato dall’economista premio per l’Ambiente del 2018 Serge Latouche. Questo modello propone una critica strutturale al sistema di produzione capitalistico e alla logica della crescita illimitata e invita alla riduzione dei consumi superflui, al riorientamento delle priorità economiche e al perseguimento di un benessere non solo fondato sull’incremento del PIL bensì sull’equilibrio e sobrietà della qualità della vita. L’attuale modello economico basato sul consumo, sulla produzione di massa e sull’estrazione intensiva di risorse è insostenibile oltre che essere il responsabile delle disuguaglianze sociali e del collasso ecologico. Decrescita, quindi, non si pone come una recessione o un forzato impoverimento ma come una scelta consapevole di riduzione per il benessere collettivo e per l’equilibrio con la natura. L’economista propone un modello pratico di transizione che si pone l’obiettivo di rivalutare i valori della cooperazione e del tempo libero e di ripensare al nostro modo di vedere l’economia, il lavoro e il progresso. Egli propone una ristrutturazione dell’apparato produttivo e sociale cercando di puntare sul prodotto locale e sostenibile piuttosto che sul prodotto globale. Rivestono in quest’ottica un ruolo cruciale anche la riduzione dei consumi e degli sprechi e la estensione della durata utile dei beni. Infine, si mira alla minimizzazione dei rifiuti e alla redistribuzione della ricchezza.

La teoria si può sintetizzare con il ciclo delle otto R (rivalutare, riconcettualizzare, ristrutturare, rifocalizzare, ridurre, riutilizzare, riciclare e redistribuire). Gli obiettivi, quindi, sono la ricostruzione delle economie locali autosufficienti, lo svincolamento dalla dipendenza dal PIL come unico indicatore di progresso, la promozione di stili di vita sobri e delle relazioni comunitarie e la limitazione del potere delle multinazionali e del mercato globalizzato.

In Italia, il Movimento per la Decrescita Felice fondato da Maurizio Pallante⁹⁶, ha ripreso la teoria di Latouche cercando di applicarla al contesto italiano. Il concetto di “Decrescita Felice” è tornato in voga con l’aggravarsi della crisi climatica assieme alla riflessione sull’impatto delle nuove tecnologie, come l’IA, e l’interesse sempre più diffuso per modelli di vita più sobri e orientati alla sostenibilità.

Pur essendo un modello dai nobili propositi, esso non è esente da critiche. Alcuni economisti, infatti, ritengono che questo modello sia poco realistico in quanto a livello globale i paesi in via di sviluppo stanno puntando alla crescita in maniera sempre maggiore al fine di migliorare le loro condizioni di vita. Inoltre, vi è il rischio che questo venga confuso con la recessione la quale è una crisi del sistema economico e non una scelta consapevole. Infine, è da considerare che molte persone potrebbero egoisticamente non volere un peggioramento del proprio stile di vita; nemmeno per ragioni di pubblica utilità.

Uno degli elementi cruciali per una transizione ecologica maggiormente sostenibile, è l’implementazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Attualmente, grazie ad ingenti investimenti in eolico, solare e idroelettrico, il Paese europeo che produce la maggior quantità di elettricità verde è la Germania, seguita da Spagna e Svezia⁹⁷. D’altro canto, questi sforzi non sono ancora sufficienti a compensare la crescente domanda energetica mondiale. In questo contesto, appare ancora più complesso

⁹⁶ Maurizio Pallante è uno scrittore, saggista e attivista italiano, noto per essere il fondatore e principale teorico del Movimento per la Decrescita Felice (MDF).

⁹⁷ Eurostat, Renewables account for 24.5% of EU energy use in 2023.

adempiere agli obiettivi contenuti nel piano “Fit for 55”⁹⁸ dell’UE per il 2030, il quale prevede anche l’eliminazione delle auto a combustione. L’adozione di massa di veicoli elettrici è un grandissimo passo avanti in termini di riduzione delle emissioni ma solleva forti dubbi sulla fattibilità energetica del progetto poiché richiede una capacità di produzione e distribuzione elettrica di gran lunga superiore a quella attuale e ad ora concepibile o realizzabile nel breve termine.

In questo scenario ritorna attuale il dibattito sull’energia nucleare. Dopo la catastrofe avvenuta a Chernobyl nel 1986, l’opinione pubblica italiana ha visto un crollo profondo dei consensi nei confronti di questa fonte energetica. Questa profonda disillusione italiana è sfociata nei referendum del 1987 che ha avuto un epilogo negativo e in seguito al disastro di Fukushima del 2011 che ha visto una conferma della contrarietà all’energia nucleare nel paese. Il sentimento collettivo è stato influenzato dalla percezione di rischio elevata e sulla forte sfiducia verso le istituzioni in grado di garantire la sicurezza degli impianti. Nel dibattito contemporaneo è riemersa la questione dell’energia nucleare sotto il profilo di energia nucleare di nuova generazione la quale viene considerata maggiormente sicura e potenzialmente in grado di garantire una produzione stabile di energia a bassissime emissioni. In questo scenario l’Italia si trova nella posizione di dover scegliere tra la sua storica tradizione anti-nucleare e le esigenze imposte dalla transizione energetica. Non è da sottovalutare, poi, l’impatto economico di una scelta anti-nucleare in questi anni. L’Italia, non essendo autosufficiente sotto il profilo energetico, è costretta ad importare ingenti quantità di energia elettrica dagli altri Stati membri dell’Unione e ciò comporta ripercussioni economiche significative. Inoltre, ad oggi le posizioni anti-nucleari del paese, spesso giustificate dal timore legato alla prossimità delle centrali, appaiono decisamente devianti dal momento che esistono impianti nucleari attivi a ridosso dei confini italiani. In caso di un ipotetico (e altamente improbabile) incidente, gli effetti travalicherebbero inevitabilmente i confini nazionali e renderebbero vani i tentativi italiani di tenere le centrali a debita distanza.

⁹⁸ Un pacchetto legislativo dell’UE che mira a ridurre le emissioni nette di gas serra del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, accelerando la transizione verso la neutralità climatica

In altre parole, l'allontanamento fisico non rappresenta una garanzia reale di sicurezza. È necessario un ripensamento più razionale e meno emotivo nel dibattito sull'energia nucleare. A maggior ragione in questo periodo storico segnato da un progresso scientifico significativo che rende gli impianti nucleari a rischio vicino allo zero.

Il legame con l'Intelligenza Artificiale è duplice in quanto se da un lato l'IA è uno strumento fondamentale per ottimizzare i sistemi energetici, migliorare la previsione della domanda, regolare l'utilizzo delle fonti intermittenti e a rendere più efficienti i consumi, dall'altro essa appare una tecnologia energivora per quanto riguarda la sua implementazione e l'addestramento dei modelli linguistici avanzati e reti neurali profonde, le quali consumano grandissime quantità di energia elettrica. Appare, perciò, necessario progettare e impiegare l'IA in un'ottica sostenibile per ottimizzare i consumi e ridurre la sua impronta ecologica.

È necessario, quindi, integrare l'IA all'interno di una visione più ampia e coerente con i principi di giustizia climatica, equità intergenerazionale e della responsabilità ambientale affinché essa possa realmente contribuire alla sostenibilità globale. Ciò comporta la promozione di una governance tecnologica che favorisca la trasparenza nell'uso delle risorse e che indirizzi l'innovazione non più verso una mera efficienza bensì verso la tutela del pianeta.

In conclusione, perché l'IA incarni veramente sostenibilità ambientale e sociale, è fondamentale evitare che derive retoriche e scorciatoie comunicative che mascherano operazioni prive di impatto reale abbiano il sopravvento. In questo senso, il rischio di green-washing tecnologico è divenuto sempre più concreto in quanto molte aziende del settore digitale e tecnologico si affrettano ad etichettare i propri modelli come "green" e "sostenibili" senza, però, che vi sia un'effettiva adozione di misure strutturali volte alla riduzione dell'impronta ecologica o senza una trasparenza reale nell'uso delle risorse.

Un esempio emblematico è quello di Amazon e dei suoi piani ambiziosi per la neutralità carbonica. Il colosso statunitense, infatti, è stato al centro di pesantissime critiche

in quanto i piani presentavano gravi opacità nella rendicontazione delle emissioni indirette e perché la crescita dei suoi data center energivori continuava. Allo stesso modo, anche Meta (Facebook) ha dichiarato il raggiungimento delle emissioni zero per le proprie operazioni senza, però, menzionare il conteggio degli impatti ambientali legati alla catena di fornitura e alla produzione dei dispositivi.

È necessario, quindi, promuovere strumenti di valutazione indipendente come indicatori standardizzati e certificazioni ambientali credibili in grado di distinguere tra innovazione sostenibile e strategie d'immagine. Attraverso un approccio trasparente, rigoroso e partecipativo sarà possibile creare un ecosistema tecnologico veramente coerente con i principi di responsabilità intergenerazionale e giustizia climatica.

6. Conclusioni

6.1. Sintesi delle principali osservazioni

Questo lavoro di tesi ha analizzato il ruolo dell'Intelligenza Artificiale come nuovo centro della supremazia tecnologica e geopolitica globale. In particolare, l'attenzione è stata posta sulla centralità dell'hardware, con particolare riferimento ai semiconduttori, nella ridefinizione della balance of power internazionale.

Il lavoro ha sottolineato come la lotta per la leadership nel settore dell'Intelligenza Artificiale sia soprattutto una battaglia geopolitica per il controllo delle infrastrutture fisiche essenziali allo sviluppo dell'IA e non solo una questione di capacità algoritmica o di software. Le infrastrutture fisiche quali chip, CPU, GPU, materiali critici, impianti di produzione avanzata e il loro funzionamento sono state affrontate e approfondite nella sezione 3.

Dopo una accurata definizione di Intelligenza Artificiale e dopo una specifica sul suo funzionamento, si è evidenziato come essa si è divenuta oggi una tecnologia trasformativa capace di ridefinire gli equilibri politici, economici, sociali e militari. Il cuore tecnico dell'IA è composto da modelli computazionali avanzati che richiedono quantità enormi di dati, una grande potenza di calcolo e una infrastruttura hardware sofisticata. I semiconduttori svolgono, in questo contesto, un ruolo cruciale in quanto essi rappresentano l'elemento centrale che rende possibile l'elaborazione ad alta intensità computazionale richiesta dall'addestramento e dall'esecuzione dei modelli IA.

La catena globale dell'hardware specifico per l'IA è fortemente centralizzata. La progettazione della componente software è dominata da aziende nord americane come NVIDIA mentre la produzione concreta è concentrata in Asia con la taiwanese TSMC e la sudcoreana Samsung alla guida della catena del valore. I macchinari fondamentali per la litografia EUV, invece, vengono prodotti esclusivamente dalla olandese ASML. Ogni anello di questa catena è indispensabile al funzionamento dell'intero sistema e ciò fa sì

che si crei una dipendenza strategica e una particolare vulnerabilità geopolitica che può essere talvolta sfruttata come leva di potere. L'Unione Europea, in questo scenario, si ritrova attualmente in una posizione di marginalità rispetto ai poli principali della competizione che vedono protagonisti Stati Uniti e Cina.

Nel corso della tesi si è analizzato specificamente il caso di Taiwan come punto nevralgico della rivalità sino-americana. Grazie alla leadership nel settore dell'azienda TSMC, l'isola è divenuta oggi il principale nodo di fabbricazione dei chip più avanzati al mondo. La posizione delicata di Taiwan, che si vede contesa tra la Repubblica Popolare Cinese e gli Stati Uniti, fa sì che il controllo dell'hardware sia divenuto un elemento strategico di sicurezza nazionale e globale; non solo una questione economica.

Nel corso del lavoro, si è voluto dare importanza alla rilevanza di altri fattori tra cui la questione delle terre rare come gallio e germanio, la sostenibilità ambientale e il consumo energetico dei data Centre. L'Intelligenza Artificiale, oltre ad essere una tecnologia ad alta intensità cognitiva, è anche una tecnologia ad altissima intensità energetica. L'addestramento dei modelli e il raffreddamento delle infrastrutture, infatti, necessitano di ingenti risorse naturali come corrente elettrica e acqua. Questo elemento solleva numerose nuove domande sul rapporto esistente tra progresso tecnologico, sostenibilità ambientale e giustizia climatica.

Si è affrontato, poi, il tema dell'impatto sociale ed etico dell'Intelligenza Artificiale. La crescente polarizzazione del mercato del lavoro, l'esclusione tecnologica dei paesi in via di sviluppo, la protezione dei dati personali, la trasparenza degli algoritmi e l'autonomia delle decisioni militari automatizzate sono solo alcune delle sfide emergenti nel contesto di una diffusione sempre maggiore dell'IA.

Infine, la tesi ha identificato alcune possibilità di sviluppo e alcune traiettorie di attenzione prioritaria. Innanzitutto diviene necessaria la promozione di una maggiore decentralizzazione della produzione della componente hardware al fine di mitigare i rischi

che derivano dalle possibili (e probabili) interruzioni delle catene di fornitura e per bilanciare il potere concentrato nelle mani di pochi attori. Iniziative come l'European Chips Act si presentano come segnali incoraggianti anche se richiedono anni, se non decenni, di investimenti e know how prima di produrre effetti strutturali. Si rende, poi, necessaria una cooperazione internazionale maggiormente intensa al fine di affrontare i rischi sistemici dell'IA. Tra questi ricordiamo quelli legati all'utilizzo non pacifico degli strumenti di Intelligenza Artificiale, alla disinformazione e alla destabilizzazione politica interna e geopolitica. D'altro canto, la collaborazione diverrà sempre più difficile in un mondo multipolare sempre più diffidente reciprocamente e strategicamente competitivo.

Si rende, quindi, necessaria una guida etica e una maggiore regolamentazione. La governance dell'Intelligenza Artificiale, promossa anche da attori come l'Unione Europea, dovrà garantire un utilizzo responsabile, trasparente e inclusivo delle tecnologie, riuscendo a limitare gli abusi senza limitare la libertà scientifica. Si rende necessaria una cornice normativa chiara che protegga i diritti, gli ambienti e i sistemi democratici.

L'ultima sfida cruciale riguarda la sostenibilità. Per divenire davvero uno strumento utile al progresso, l'Intelligenza Artificiale deve integrarsi nel modello energetico ed ecologico che riduce la sua impronta ambientale al minimo possibile. L'utilizzo di tecnologie rinnovabili, l'efficienza dei modelli, il riciclo dei dispositivi e un utilizzo consapevole della tecnologia diverranno elementi imprescindibili per costruire un'architettura digitale sostenibile.

L'Intelligenza Artificiale, quindi, si è rivelata un catalizzatore geopolitico oltre che un'importante nuova tecnologia. Il controllo dell'Hardware, dei dati e delle competenze è ad oggi un terreno di ampio scontro strategico, economico e culturale. Questa tesi ha dimostrato che l'IA non può essere compresa se se ne osserva solo la sua dimensione tecnica.

Essendo essa al centro di un nuovo ordine globale in formazione, richiede un'analisi più dettagliata che consideri una pluralità di prospettive.

Il suo futuro dipenderà dalla capacità di tramutare questa sfida in un'opportunità collettiva.

Glossario

- **AI Act:** proposta di regolamento europeo volto a disciplinare l'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale.
- **ASML:** azienda olandese che produce macchinari per litografia EUV, essenziali alla fabbricazione dei semiconduttori.
- **ASIC (Application-Specific Integrated Circuit):** circuito integrato progettato per svolgere una funzione specifica molto efficientemente.
- **Addestramento:** fase nella quale un modello IA apprende dai dati attraverso l'elaborazione iterativa.
- **Algoritmo:** sequenza finita di istruzioni utilizzate per risolvere un problema o eseguire un compito.
- **API (Application Programming Interface):** interfaccia che permette l'interazione tra diversi software.
- **Apprendimento automatico:** sinonimo italiano di *machine learning*. È un processo attraverso il quale una macchina migliora le sue prestazioni grazie all'esperienza.
- **Apprendimento supervisionato:** tipo di *machine learning* in cui un modello IA apprende da dati etichettati.
- **Apprendimento non supervisionato:** tipo di apprendimento nel quale l'algoritmo identifica pattern nei dati senza etichette.
- **Bias algoritmico:** distorsione sistematica nei risultati di un algoritmo causata da dati incompleti.
- **Big Tech:** grandi aziende tecnologiche globali (Google, Microsoft, Meta, Amazon...).
- **CHIPS Act:** legge americana del 2022 che si pone l'obiettivo di rafforzare l'industria dei semiconduttori interna agli USA.
- **Chip:** termine informale utilizzato per indicare microprocessori o componenti elettronici miniaturizzati.
- **Clean Network:** iniziativa statunitense volta ad escludere infrastrutture cinesi, come Huawei, dalle reti critiche.

- **Cloud:** servizi di archiviazione e calcolo basati su server remoti accessibili tramite Internet.
- **CPU (Central Processing Unit):** unità centrale di elaborazione; elabora istruzioni e dati nei computer.
- **Data Center:** strutture che ospitano server e infrastrutture per elaborare, archiviare e distribuire dati.
- **De-carbonizzazione:** progressiva riduzione delle emissioni di carbonio nonché obiettivo cruciale per la sostenibilità ambientale.
- **Deep Learning:** sottocategoria del *machine learning* basata su reti neurali artificiali multilivello.
- **Diodo:** componente elettronico che consente il passaggio della corrente in un'unica direzione.
- **Drogaggio:** processo di introduzione di impurità in un semiconduttore al fine di modificarne le proprietà elettriche.
- **Edge AI / Edge Computing:** esecuzione di modelli IA direttamente su dispositivi già esistenti (come droni e sensori).
- **Efficienza energetica:** capacità di ottenere buone prestazioni computazionali con un minimo consumo di energia.
- **Embedding:** tecnica volta a trasformare dati, come parole o immagini, in rappresentazioni numeriche utilizzabili dai modelli.
- **EUV (Extreme Ultraviolet Lithography):** tecnologia litografica avanzata per incidere microcircuiti con estrema precisione.
- **Fab:** impianto di produzione di semiconduttori (abbreviazione di “fabrication plant”).
- **Framework:** insieme di strumenti software per facilitare lo sviluppo di applicazioni IA (es. PyTorch, TensorFlow).
- **Gallio:** metallo raro usato per la produzione di semiconduttori ad alte prestazioni.
- **Geopolitica tecnologica:** utilizzo strategico della tecnologia come uno strumento di potere nelle relazioni internazionali.
- **Germanio:** elemento chimico impiegato nei semiconduttori avanzati.

- **GPU (Graphics Processing Unit):** unità di elaborazione grafica che vengono usate anche per calcoli paralleli in IA.
- **IA (Intelligenza Artificiale):** simulazione dell'intelligenza umana da parte di sistemi informatici.
- **IA generativa:** categoria di IA in grado di creare contenuti nuovi, come immagini, testi, suoni.
- **Inferenza:** fase operativa dell'IA nella quale un modello pre-addestrato elabora nuovi dati.
- **Inferenza distribuita:** esecuzione di modelli IA su più dispositivi o server al fine di migliorarne l'efficienza.
- **Legge di Moore:** previsione secondo la quale il numero di transistor contenuti nei chip raddoppierà ogni due anni.
- **Litografia:** processo per imprimere circuiti su wafer di silicio.
- **Machine Learning:** metodo IA attraverso il quale i sistemi apprendono dai dati.
- **Microchip / Microprocessore:** dispositivo elettronico che contiene uno o più circuiti integrati.
- **Modello neurale:** struttura IA ispirata alle reti neurali biologiche che viene utilizzata per l'apprendimento automatico.
- **Modello pre-addestrato:** modello IA già addestrato su grandi quantità di dati e riutilizzabile per vari compiti.
- **NVIDIA:** azienda statunitense leader mondiale nello sviluppo di GPU per gaming e IA.
- **OpenAI:** organizzazione di ricerca sull'intelligenza artificiale che ha sviluppato i modelli GPT.
- **Overfitting:** situazione in cui un modello IA si adatta troppo ai dati di addestramento e perde la capacità di generalizzazione.
- **Quantum computing:** tecnologia emergente che sfrutta le leggi della meccanica quantistica per eseguire calcoli.

- **Raffreddamento a liquido:** sistema di dissipazione termica usato nei Data Center per abbassare la temperatura dei server.
- **Reti neurali profonde:** architetture composte da numerosi strati per il deep learning.
- **Riconoscimento vocale:** tecnologia IA che consente di comprendere e interpretare il linguaggio umano parlato.
- **Rifiuti elettronici (e-waste):** scarti tecnologici derivanti da dispositivi elettronici obsoleti o non più funzionanti.
- **Semiconduttore:** materiale con conducibilità elettrica intermedia alla base della produzione di chip.
- **Silicio:** elemento base per la realizzazione di semiconduttori.
- **Silicio monocristallino:** forma altamente pura e strutturata di silicio che viene utilizzata per i semiconduttori più avanzati.
- **SMIC:** principale produttore cinese di semiconduttori.
- **SMR (Small Modular Reactor):** reattori nucleari compatti e modulari, proposti per l'alimentazione di Data Center.
- **Sovranità digitale:** capacità di uno Stato di controllare le infrastrutture, i dati e le tecnologie digitali senza dipendenze esterne.
- **Supply Chain:** catena di produzione e distribuzione di beni, in questo contesto applicata all'industria tech.
- **TensorFlow / PyTorch / Keras:** framework di sviluppo per IA e deep learning.
- **Transformer:** architettura alla base dei moderni modelli di linguaggio, come GPT, che consente di elaborare dati sequenziali.
- **Transistor:** componente elettronico che controlla il flusso di corrente in un circuito, funziona come un interruttore.
- **TSMC:** Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, azienda leader mondiale nella produzione di chip avanzati.
- **Wafer:** disco sottile di materiale semiconduttore (tipicamente silicio) nel quale si costruiscono i chip.

- **Wafer fab:** struttura industriale nella quale si realizzano i wafer di semiconduttore che sono fondamentali per la produzione di chip.
- **WTO (World Trade Organization):** Organizzazione Mondiale del Commercio, promuove il libero scambio internazionale.

Mappa concettuale riassuntiva

AMERICA

INTEL (USA)

Produce e progetta chip

NVIDIA (USA)

Progetta chip per l'IA;
Prodotti a Taiwan (TSMC)



Non avanzati come
quelli prodotti a Taiwan

Governo USA

Nel 2022 ha convinto ASML a non
vendere macchinari avanzati alla
Cina

Ha erogato finanziamenti a INTEL
per raggiungere i livelli di TSMC

OpenAI

Sviluppo di ChatGPT

EUROPA

ASML (Olanda)

Produce i macchinari che servono a
produrre i chip

-Nel 2022 si accorda con il governo USA
per non vendere i macchinari avanzati
alla Cina

Unione Europea

Ha approvato L'European Chips Act

ASIA

TSMC (Taiwan)

Produce 9/10 dei semiconduttori più
avanzati al mondo

-Assemblaggio dei chip:



Fase *Labour intensive* e a basso
valore aggiunto. Viene affidata a
paesi in cui il costo del lavoro è basso
(Malesia, Filippine, Vietnam)

Governo Cinese

Sviluppo di Deepseek



Shock dei mercati.
È una sorta di ChatGPT cinese molto
più economico

Cina

Produce le terre rare:
-1/98 del gallio grezzo
-1/2/3 del germanio grezzo



Entro il 2030 si prevede che la domanda
di gallio grezzo aumenti del 350%
rispetto ai livelli del 2015; ci si aspetta
che la domanda di germanio raddoppi

Piano *Made in China 2025*: un piano
industriale per conquistare la
leadership tecnologica mondiale

Guerra Russo-Ucraina

Il presidente statunitense Donald Trump fa
pressione all'**Ucraina** al fine che questa accetti un
accordo sulle Terre Rare:

-L'Ucraina otterrebbe il supporto militare USA
-Gli USA ottengono l'accesso alle terre rare
ucraine riuscendo a dipendere in misura minore
dalle importazioni dalla Cina

Bibliografia:

Volumi

- Aresu, A. (2022). *Il dominio del XXI secolo: Cina, Stati Uniti e la guerra invisibile sulla tecnologia*. (Milano: Feltrinelli, 2022).
- Aresu, A. (2023). *Geopolitica dell'Intelligenza Artificiale*. (Milano: Egea, 2023).
- Harari, Y. N. (2024). *Nexus: breve storia delle reti di informazione dall'età della pietra all'IA*. (Milano: Bompiani, 2024)
- Miller, C. (2022). *Chip War: la sfida tra Cina e USA per il controllo della tecnologia che deciderà il nostro futuro*. (Milano: Mondadori, 2022).
- Pugel, T. A. (2020). *International Economics*, 17^a ed. (New York: McGraw-hill Education, 2020).

Articoli e Fonti Online

- Agenda Digitale, *Chips Act: USA e UE, così simili e così diversi: quanto si investe, le strategie e le paure*, AgendaDigitale.eu, 2024. Disponibile su: <https://www.agenda-digitale.eu/mercati-digitali/chips-act-usa-e-ue-cosi-simili-e-cosi-diversi-quanto-si-investe-le-strategie-e-le-paure/>
- ANSA, *Garante privacy multa 1 mln a Facebook per Cambridge Analytica*, ANSA.it, 28 giugno 2019. Disponibile su: https://www.ansa.it/sito/notizie/tecnologia/internet_social/2019/06/28/garante-privacy-multa-1-mln-a-facebook-per-cambridge-analytica_ec9234f5-caae-4485-9beb-e092137a4d67.html
- ANSA, *Google sospende l'IA per immagini, errori storici e inaccuratezza*, ANSA.it, 22 febbraio 2024.. Disponibile su: https://www.ansa.it/canale_tecnologia/notizie/future_tech/2024/02/22/google-sospende-lia-per-immaginierrori-storici-e-inaccuratezza_e4b29d60-4e99-47c5-aaf3-5cfdc65681a8.html
- Arthur C., *Google fined by FCC over Street View*, The Guardian, 16 aprile 2012. Disponibile su: <https://www.theguardian.com/technology/2012/apr/16/google-fined-fcc-street-view>

- Barber, G., *Tesla dice addio alle terre rare*, Wired Italia, 3 maggio 2023. Disponibile su: <https://www.wired.it/article/tesla-addio-terre-rare/>
- Business Insider, *Nvidia: A complete guide to the hardware company behind the AI boom and its chips, financials, and leadership*, BusinessInsider.com, 2025. Disponibile su: <https://www.businessinsider.com/nvidia>
- Cadenaser, *El gasto energético de la IA: cada imagen generada con ChatGPT consume entre 2 y 5 litros de agua*, Cadenaser.com, 5 Aprile 2025. Disponibile su: <https://cadenaser.com/nacional/2025/04/05/el-gasto-energetico-de-la-ia-cada-imagen-generada-con-chatgpt-consume-entre-2-y-5-litros-de-agua-cadena-ser/>
- Campbell, C., *How “Friendshoring” Made Southeast Asia Pivotal to the AI Revolution*, TIME, 27 agosto 2024. Disponibile su: <https://time.com/7015000/ai-semiconductor-chips-malaysia-anwar/>
- CNBC, *Microsoft is hiring a nuclear energy expert to help power data centers*, CNBC.com, 25 settembre 2023. Disponibile su: <https://www.cnbc.com/2023/09/25/microsoft-is-hiring-a-nuclear-energy-expert-to-help-power-data-centers.html>
- Commissione europea, *Analisi approfondite dei settori strategici per gli interessi dell’Europa*, 2021. Disponibile su: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests_it
- Corriere della Sera, *Apple ha giocato d’anticipo sui dazi: 5 aerei pieni di iPhone partiti da Cina e India*, Corriere.it, 9 aprile 2025. Disponibile su: https://www.corriere.it/tecnologia/25_aprile_09/apple-ha-giocato-d-anticipo-sui-dazi-5-aerei-pieni-di-iphone-partiti-da-cina-e-india-e-negli-store-americani-e-corsa-all-acquisto-bd297442-43bf-4732-918d-6d6e26135x1k.shtml
- Corriere della Sera, *Nvidia, storia della società che vale di più al mondo: la nascita in un fast food, il fondatore che ha perso 70 miliardi di dollari e le altre curiosità*, Corriere.it, 2024. Disponibile su: <https://www.corriere.it/tecnologia/cards/nvidia-storia-della-societa-che-vale-di-piu-al-mondo-la-nascita-in-un-fast-food-il-fondatore-che-ha-perso-70-miliardi-di-dollari-e-le-altre-curiosita/lera-dellintelligenza-artificiale.shtml>

- CSO, OpenAI failed to report a major data breach in 2023, CSOonline.com, 8 luglio 2024. Disponibile su: <https://www.csoonline.com/article/2514383/openai-failed-to-report-a-major-data-breach-in-2023>
- D'Elia, D., 'H&M, multa da 35 milioni in Germania: "Spiava i dipendenti"', *La Repubblica*, 1 ottobre 2020, https://www.repubblica.it/economia/2020/10/01/news/h_m_multa_da_35_milioni_in_germania_spiava_i_dipendenti_-269093495/
- D'Elia, D., *L'antivirus Avast raccoglie i dati degli utenti e li vende alle aziende*, *La Repubblica*, 30 gennaio 2020. Disponibile su: https://www.repubblica.it/tecnologia/sicurezza/2020/01/30/news/l_antivirus_avast_raccoglie_i_dati_degli_utenti_e_li_vende_alle_aziende-247172808/
- Digital Watch Observatory, *New Delhi G20 Leaders' Declaration*, settembre 2023. Disponibile su: <https://dig.watch/resource/new-delhi-g20-leaders-declaration>
- Dipartimento per la trasformazione digitale, *G7: il comunicato congiunto della riunione ministeriale su Tecnologia e Digitale*, *innovazione.gov.it*, 15 ottobre 2024. Disponibile su: <https://innovazione.gov.it/notizie/articoli/g7-il-comunicato-congiunto-della-riunione-ministeriale-su-tecnologia-e-digital/>
- Don Weinland, 'The tech war between America and China is just getting started', *The Economist*, 18 novembre 2022. Disponibile su: <https://www.economist.com/the-world-ahead/2022/11/18/the-tech-war-between-america-and-china-is-just-getting-started>
- EIA, *How much electricity does an American home use?*, U.S. Energy Information Administration, 2023. Disponibile su: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=97&t=3>
- Elkus R.Jr., *A Strategy for The United States to Regain its Position in Semiconductor Manufacturing*, Center for Strategic and International Studies, 2024. Disponibile su: <https://www.csis.org/analysis/strategy-united-states-regain-its-position-semiconductor-manufacturing>
- European Commission, *Second in-depth review of strategic areas for Europe's interests*, European Commission, 2022. Disponibile su: <https://commission.europa.eu/>

[strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/second-depth-review-strategic-areas-europes-interests_en](#)

- European Commission, *Updated in-depth review of Europe's strategic dependencies*, European Commission, 2022. Disponibile su: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1124

- Eurostat, *Renewables account for 24.5% of EU energy use in 2023*, Eurostat.eu, 2024. Disponibile su: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241219-3>

- Financial Times, *Nvidia vaults past Apple and Microsoft to become world's most valuable company*, FT.com, 18 giugno 2024. Disponibile su: <https://www.ft.com/content/1ec5523a-80ec-47ba-9f71-8765b4ae4577>

- Financial Times, *US and Ukraine sign memorandum of intent on minerals deal*, FT.com, 17 aprile 2025. Disponibile su: <https://www.ft.com/content/181ad802-4a7a-452f-b156-2613c402b970>

- Finocchiaro, G, *Intelligenza Artificiale e protezione dei dati personali*, 2019. Disponibile su: http://www.blogstudiolegalefinocchiaro.it/wp-content/uploads/2019/09/G.-Finocchiaro_GiurisprudenzaItaliana_2019.pdf

- *G20 Ministerial Declaration: 13 September 2024*, GOV.UK, 14 settembre 2024. Disponibile su: <https://www.gov.uk/government/publications/g20-ministerial-declaration-maceio-13-september-2024/g20-ministerial-declaration-13-september-2024>

- Garante per la protezione dei dati personali, *Cambridge Analytica: Facebook fined 1 million Euro by the Italian Dpa*, GarantePrivacy.it, 2019. Disponibile su: <https://www.garanteprivacy.it/home/docweb/-/docweb-display/docweb/9121506>

- Geopolitica.info, *Europa-Cina. La sfida industriale di "Made in China 2025"*, Geopolitica.info, 2024. Disponibile su: <https://www.geopolitica.info/made-in-china-2025/>

- Hern A., *Royal Free breached UK data law in 1.6m patient deal with Google's DeepMind*, The Guardian, 3 luglio 2017. Disponibile su: <https://www.theguardian.com/technology/2017/jul/03/google-deepmind-16m-patient-royal-free-deal-data-protection-act>

- IMF, *AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity*, IMF.org, 14 gennaio 2024. Disponibile su: <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2024/01/14/ai-will-transform-the-global-economy-lets-make-sure-it-benefits-humanity>
- Institute forenergyresearch.org., *Biden Encourages Rare Earth Investment in Vietnam*, Institute forenergyresearch.org, 2024. Disponibile su: <https://www.institute forenergyresearch.org/international-issues/biden-encourages-rare-earth-investment-in-vietnam/>
- Il Messaggero, *La storia di Nvidia: dalla crisi del 1999 alla leadership nell'IA*, Il-Messaggero.it, 2024. Disponibile su: https://www.ilmessaggero.it/tecnologia/news/nvidia_storia_chi_e_proprietario_intelligenza_artificiale_soldi-8320567.html
- ISPI, *Quali sono gli interessi della Cina nell'Africa del Mediterraneo allargato?*, ISPIonline.it, 2024. Disponibile su: <https://www.ispionline.it/it/pubblicazione/quali-sono-gli-interessi-della-cina-nellafrica-del-mediterraneo-allargato-184424>
- Lazard, *The Geopolitics of Artificial Intelligence*, Lazard.com, 2024. Disponibile su: <https://www.lazard.com/research-insights/the-geopolitics-of-artificial-intelligence/>
- Lv, A. e Munroe T., *China bans export of critical minerals to US as trade tensions escalate*, Reuters, 3 dicembre 2024. Disponibile su: <https://www.reuters.com/markets/commodities/china-bans-exports-gallium-germanium-antimony-us-2024-12-03/>
- MIMIT, *Consenso G7 raggiunto sull'avanzamento dell'IA per lo sviluppo sostenibile*, MIMIT.gov.it, 2024. Disponibile su: <https://www.mimit.gov.it/it/g7-industria/aggiornamenti/consenso-g7-raggiunto-sullavanzamento-dellia-per-lo-sviluppo-sostenibile>
- Mining.com, *Inside Vietnam's plans to dent China's rare earths dominance*, Mining.com, 2024. Disponibile su: <https://www.mining.com/web/inside-vietnams-plans-to-dent-chinas-rare-earths-dominance>
- Ministero dell'Economia e delle Finanze, Dipartimento del Tesoro, *L'industria globale dei semiconduttori e il ruolo dell'Italia*, Nota Tematica n. 3/2023, Roma: MEF, 2023. Disponibile online: https://www.dt.mef.gov.it/export/sites/sitodt/modules/documenti_it/analisi_progammazione/note_tematiche/Nota-Tematica-n-3-2023.pdf

- Montanino, A., Camerano S., Carriero, A., Rodà, M., Valdes C., *La crisi dei semiconduttori: cosa succede?*, Cassa Depositi e Prestiti (CDP), 26 aprile 2022. Disponibile su: https://www.cdp.it/resources/cms/documents/CDP_Brief_La_crisi_dei_semiconduttori_cosa_succede.pdf
- New York Post, *Trump Officials Urge Allies to Limit Chip Exports to China: Report*, NYPost.com, 25 febbraio 2025. Disponibile su: <https://nypost.com/2025/02/25/business/trump-officials-urge-allies-to-limit-chip-exports-to-china-report/>
- Neuman, S., *5 minerals in Ukraine that may be part of a deal with the U.S.*, NPR, 26 febbraio 2025. Disponibile su: <https://www.npr.org/2025/02/26/nx-s1-5309996/ukraine-rare-earth-minerals-metals-deal>
- NPR, *5 minerals in Ukraine that may be part of a deal with the U.S.*, NPR.org, 26 febbraio 2025. Disponibile su: <https://www.npr.org/2025/02/26/nx-s1-5309996/ukraine-rare-earth-minerals-metals-deal>
- NVIDIA, *Storia dell'azienda NVIDIA: Innovazione negli anni*. Disponibile su: <https://www.nvidia.com/it-it/about-nvidia/corporate-timeline/>
- NVIDIA, *Our History: A timeline of innovation*, Nvidia.com. Disponibile su: <https://www.nvidia.com/en-us/about-nvidia/corporate-timeline/>
- Perlasca G., *Crolla l'export cinese di gallio e germanio. Problemi per le industrie occidentali di semiconduttori*, Scenari Economici, 21 gennaio 2024. Disponibile su: <https://scenarieconomici.it/crolla-lexport-cinese-di-gallio-e-germanio-problemi-per-le-industrie-occidentali-di-semiconduttori/>
- Rai News, *Semiconduttori: il nostro futuro (e quello dell'Europa) dipende da un chip*, RaiNews.it, 2022. Disponibile su: <https://www.rainews.it/articoli/2022/04/semiconduttori-il-nostro-futuro-e-quello-delleuropa-in-mano-a-un-chip-15b6abef-1846-4c1c-b5eb-7a1401ea2470.html>
- Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), *SIPRI Military Expenditure Database*. Disponibile su: <https://www.sipri.org/databases/milex>
- Sullivan, H., "Inside the Mind-Bending, Tin-Blasting and Hyper-Political World of Microchips", *The Guardian*, 28 febbraio 2025. Disponibile su: <https://www.theguardian.com/technology/2025/feb/28/microchips-tin-blasting-hyper-political-world>

[dian.com/technology/2025/feb/28/inside-the-mind-bending-tin-blasting-and-hyper-political-world-of-microchips](https://www.washingtonpost.com/technology/2025/feb/28/inside-the-mind-bending-tin-blasting-and-hyper-political-world-of-microchips)

- The Washington Times, *Canadian news publishers sue OpenAI over alleged copyright infringement*, WashingtonTimes.com, 29 novembre 2024. Disponibile su: <https://www.washingtontimes.com/news/2024/nov/29/openai-sued-canadian-news-publishers-alleged-copyr>
- U.S. Census Bureau, *Trade in Goods with China*. Disponibile su: <https://www.census.gov/foreign-trade/balance/c5700.html>
- Valsania, M., *Facebook, multa record da 5 miliardi. Violata la privacy nel caso Cambridge Analytica*, Il Sole 24 Ore, 12 luglio 2019. Disponibile su: <https://www.ilsole24ore.com/art/facebook-multa-record-5-miliardi-violata-privacy-caso-cambridge-analytica-ACzEObY>
- Venture Beat, *Google invests \$300 million in Anthropic as race to compete with ChatGPT heats up*, Venturebeat.com, 3 febbraio 2023. Disponibile su: <https://venturebeat.com/ai/google-invests-300-million-in-anthropic-as-race-to-compete-with-chatgpt-heats-up/>
- Wang, J.-C., *The U.S.-China Technology War and Taiwan's Semiconductor Role in Geopolitics*, The Hague: Hague Centre for Strategic Studies, novembre 2023. Disponibile online: <https://hcss.nl/wp-content/uploads/2023/11/The-US-China-Technology-War-and-Taiwans-Semiconductor-Role-Jiann-Chyuan-Wang-HCSS-2023.pdf>
- World Bank, *GDP growth (annual %)*, IMF data. Disponibile su: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>
- World Health Organization, *Strategic Preparedness and Response Plan 2023–2025*, con annesso su “Critical Medical Hardware Supply Chains”, 2023. Disponibile su: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA78/A78_12-en.pdf

