

Semiconduttori e AI: Le materie Prime



20 Ottobre 2026

Automazione del lavoro: manuale e cognitivo



**Automazione del
lavoro manuale**



Macchina



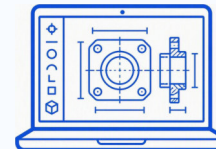
**OPERAZIONI
MANUALI**
incorporate nelle macchine



**Automazione del
lavoro cognitivo**



Computer



**OPERAZIONI
INTELLETTUALI**
incorporate nei computer

Karl Marx: Il Capitale, cap. 13 - Macchine e grande industria



Il problema non è la tecnologia in sé.

Il problema è il rapporto sociale capitalistico nel quale la tecnologia viene utilizzata.

I 5 strati della «torta» dell'AI secondo Jensen Huang

LIVELLO 5		Applicazioni	Dove si crea valore economico: copilot, sistemi autonomi, piattaforme per la scoperta di farmaci
LIVELLO 4		Modelli	I cervelli software: LLM, modelli di ragionamento, IA informata dalla fisica
LIVELLO 3		Infrastruttura	L'ambiente fisico: orchestrazione dei rack, reti di interconnessione, sistemi di raffreddamento
LIVELLO 2		Chip	I processori paralleli (GPU) che trasformano la potenza di calcolo in risposte in tempo reale
LIVELLO 1		Energia	Il vincolo fisico fondamentale: ogni token è elettricità convertita e calore gestito

1947 PRIMO TRANSISTOR



Dal transistor alle origini della Silicon Valley

La ricerca nei grandi laboratori apre una nuova industria.

1947 | Bell Labs

John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley inventano il transistor.

I Nobel per la fisica 1956



William Bradford Shockley



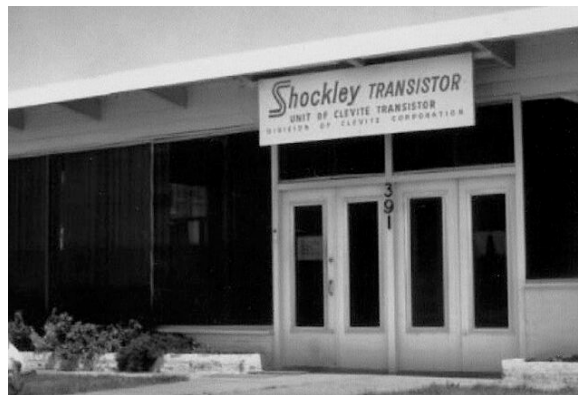
John Bardeen



Walter Houser Brattain

1955 | Shockley Lab

Shockley fonda in California un laboratorio per i semiconduttori e recluta giovani ricercatori, tra cui Robert Noyce e Gordon Moore.



1957 | La rottura degli 8 «traditori» Nasce Fairchild Semiconductor



Missili e industria militare determinano lo sviluppo dell'industria dei Chip

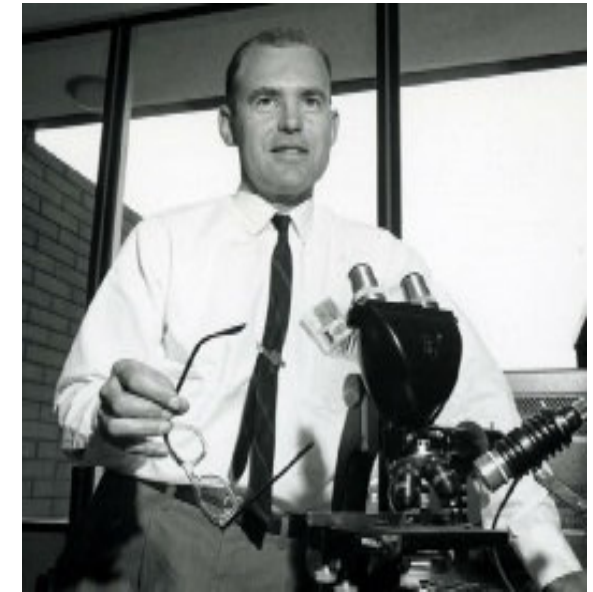
1957 | Momento Sputnik



1959 | Hoerni e Noyce Nasce il circuito integrato



1965 | La legge di Moore



1961 Avvio il progetto Apollo (1969 primo uomo sulla luna)

1963 Fairchild costruisce prima fabbrica a Hong Kong

I transistor in un chip

2020s

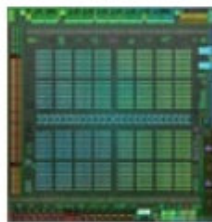
M3 Max
Processor



92,000,000,000
Transistors

2010s

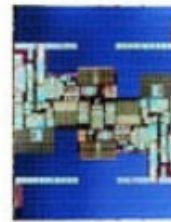
3072-Core
GPU



8,000,000,000
Transistors

2000s

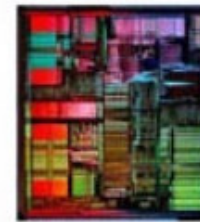
64-bit
Microprocessor



592,000,000
Transistors

1990s

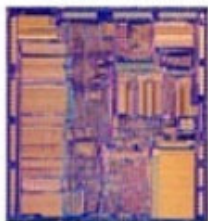
32-bit
Microprocessor



3,100,000
Transistors

1980s

32-bit
Microprocessor



275,000
Transistors

1970s

8-bit
Microprocessor



4500
Transistors

1960s

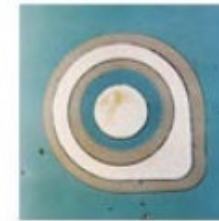
TTL
Quad Gate



16
Transistors

1950s

Silicon
Transistor



1
Transistor

La miniaturizzazione dei Nodi (1971 - 2026)

Anno di Produzione	Nodo Tecnologico	Tipo di Architettura e Note
1971	10 μm (10.000 nm)	Introduzione del microprocessore Intel 4004
1974	6 μm (6.000 nm)	Processore Intel 8080
1979	3 μm (3.000 nm)	Intel 8086
1982	1,5 μm (1.500 nm)	Intel 80286
1985	1 μm (1.000 nm)	Intel 80386
1989	800 nm (0,8 μm)	Intel 80486 / Primi utilizzi della microelettronica avanzata
1993	600 nm (0,6 μm)	Intel Pentium originale
1995	350 nm (0,35 μm)	Transizione ai wafer di silicio più grandi
1997	250 nm (0,25 μm)	Transistore planare classico standard
1999	180 nm	Transistori ad alte prestazioni per PC consumer
2001	130 nm	Ultimo nodo basato sull'ossido di silicio puro
2004	90 nm	Introduzione del silicio deformato (Strained Silicon)
2006	65 nm	Prime architetture a doppio core di massa
2008	45 nm	Introduzione dei cancelli ad alta costante k (High-k Metal Gate)
2010	32 nm	Ottimizzazione della tecnologia planare classica
2012	22 nm	Rivoluzione FinFET (transistor 3D a pinna) di Intel
2014	14 nm	Ampia diffusione del FinFET sia su PC che su smartphone
2017	10 nm	Forte incremento della densità di transistor
2018	7 nm	Introduzione della litografia EUV (Ultravioletto Estremo)
2020	5 nm	Utilizzato per chip mobile e processori AI
2022 / 2023	3 nm	Introduzione dei transistor GAA (Gate-All-Around)
2024 / 2025	2 nm / 20 Å / 18 Å	Nanosheet ad alta densità con erogazione posteriore dell'alimentazione
2026	1,4 nm / 14 Å	Sviluppo industriale dei nodi sotto i 2 nanometri ad altissima efficienza

Capello umano 50 μm

Virus HIV 100 nm

Atomo Si 0,1nm = 1 Å

La Texas Instruments – un percorso parallelo

1958 | Lathrop inventa la fotolitografia

Nei laboratori militari Harry Diamond Laboratories girare il microscopio



1958| Kilby e il circuito integrato



1954 | Prima radio a transistor



1967 | Prima calcolatrice tascabile



Anni sessanta Missile minute man II per aviazione americana

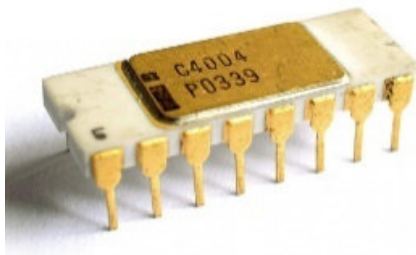
I chip diventano una tecnologia di massa

1968 | Nasce INTEL

Da Robert Noyce, Gordon Moore e Andy Grove fuoriusciti da Fairchild



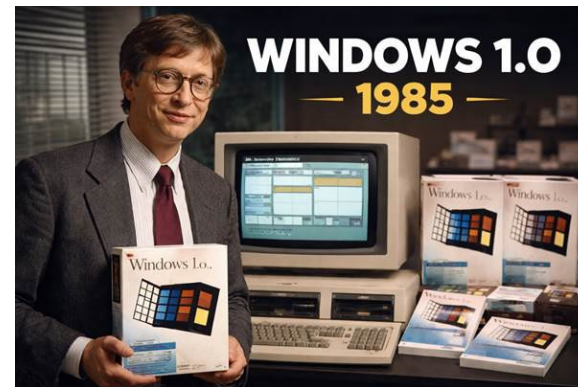
1971 | Nasce il microprocessore



1972 | Atari



1981 | IBM personal computer



1971 compare sulla rivista ELECTRONIC NEWS una rubrica che si intitola *Silicon Valley*

Il primo Videogame di massa 1972



Paco Gallardo

L'emersione del Giappone

1946| Fondata la Totsuko

1953| Compra brevetti USA

1958| Cambia nome in Sony

1959| Primo televisore a transistor



1979 | Il walkman



1982 lancia il Compact Disc CD

1994 la Play Station

Cinque date chiave

1984



ASML



1987



TMSC



1993



NVIDIA



2007



IPHONE



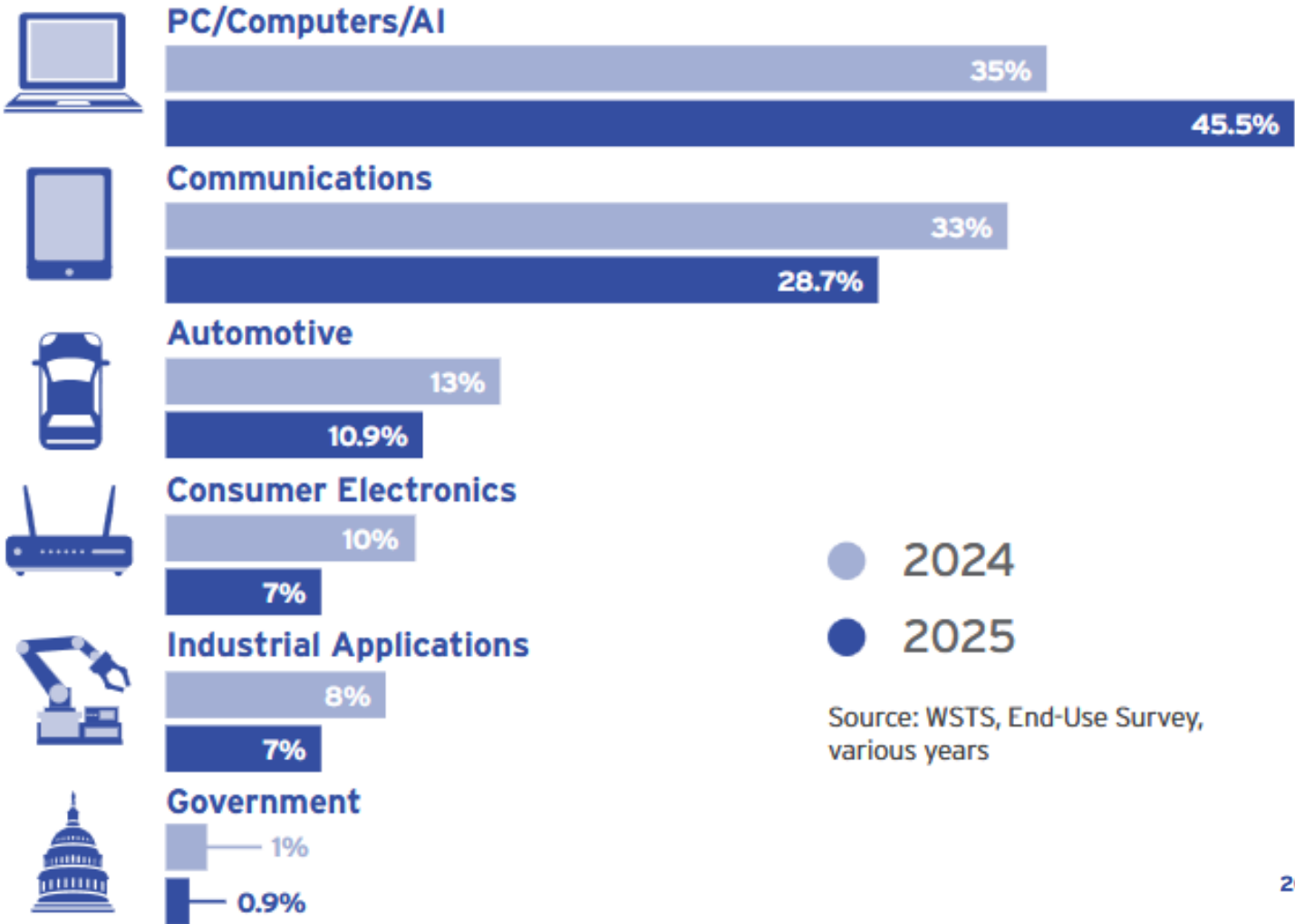
2022



**CHAT
GPT**



TOTAL GLOBAL DEMAND SHARE BY END USE, 2024-2025



● 2024
● 2025

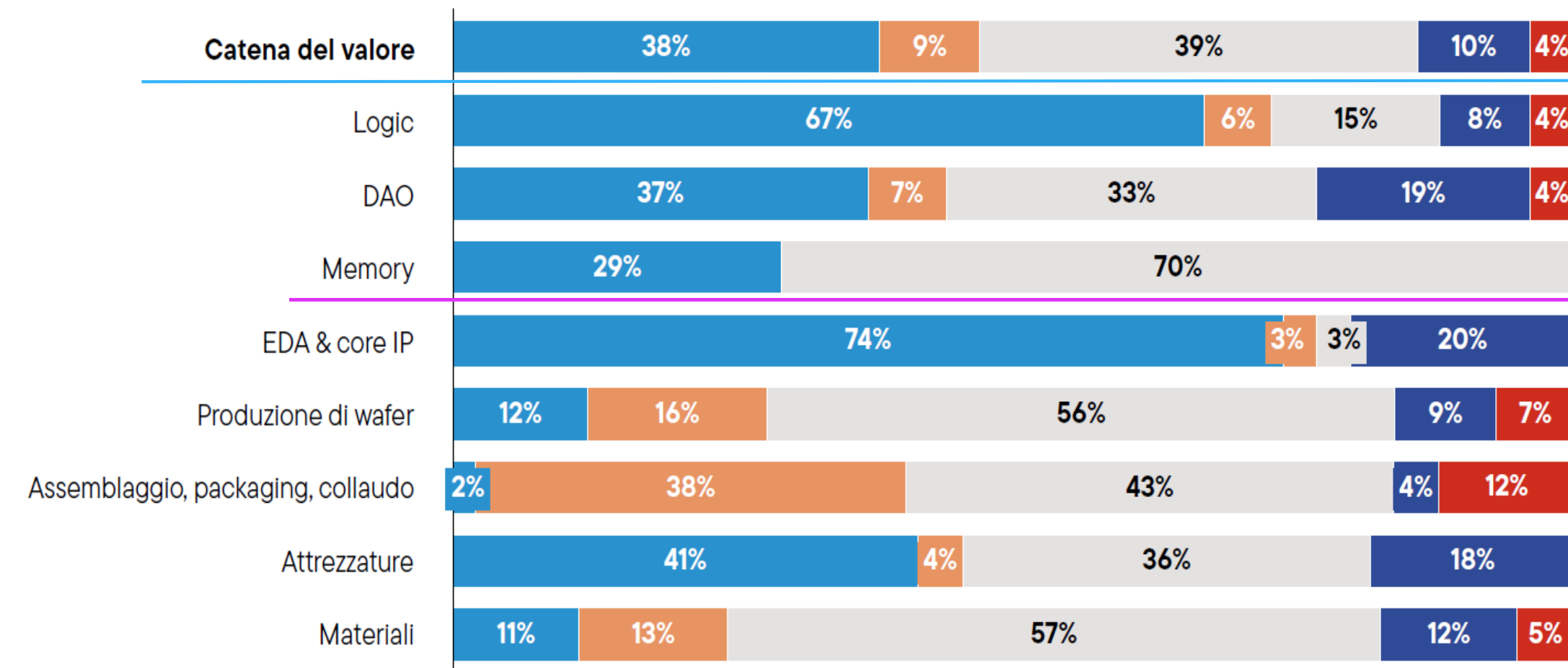
Source: WSTS, End-Use Survey, various years

Quota nella catena del valore dei semiconduttori per Paese

% del totale mondiale, 2019.



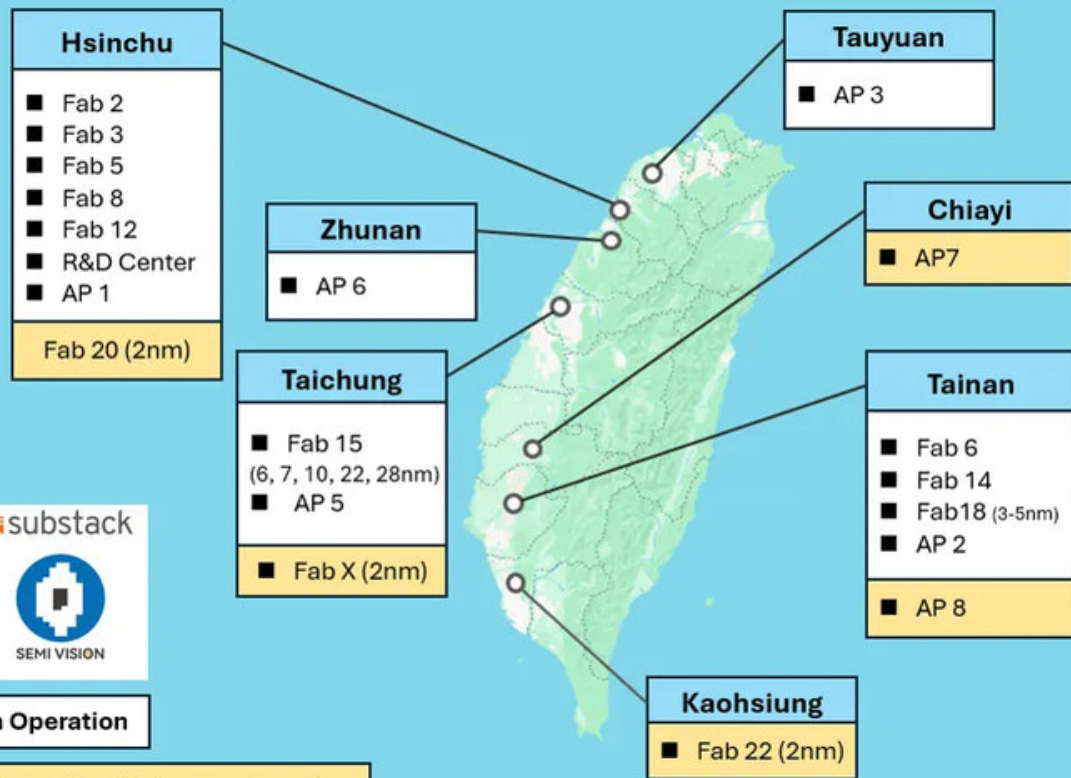
■ Stati Uniti ■ Cina ■ Est Asia ■ Europa ■ Altro



Fonte: SIA, 2021

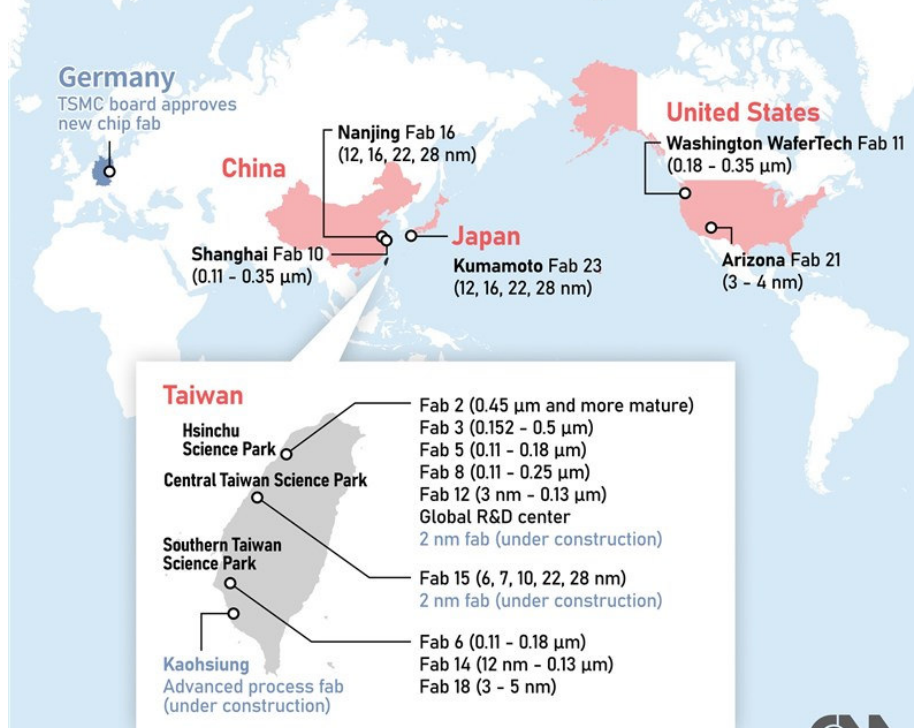
Le fabbriche di chip del mondo concentrate a Taiwan

TSMC Taiwan Fabs Overview



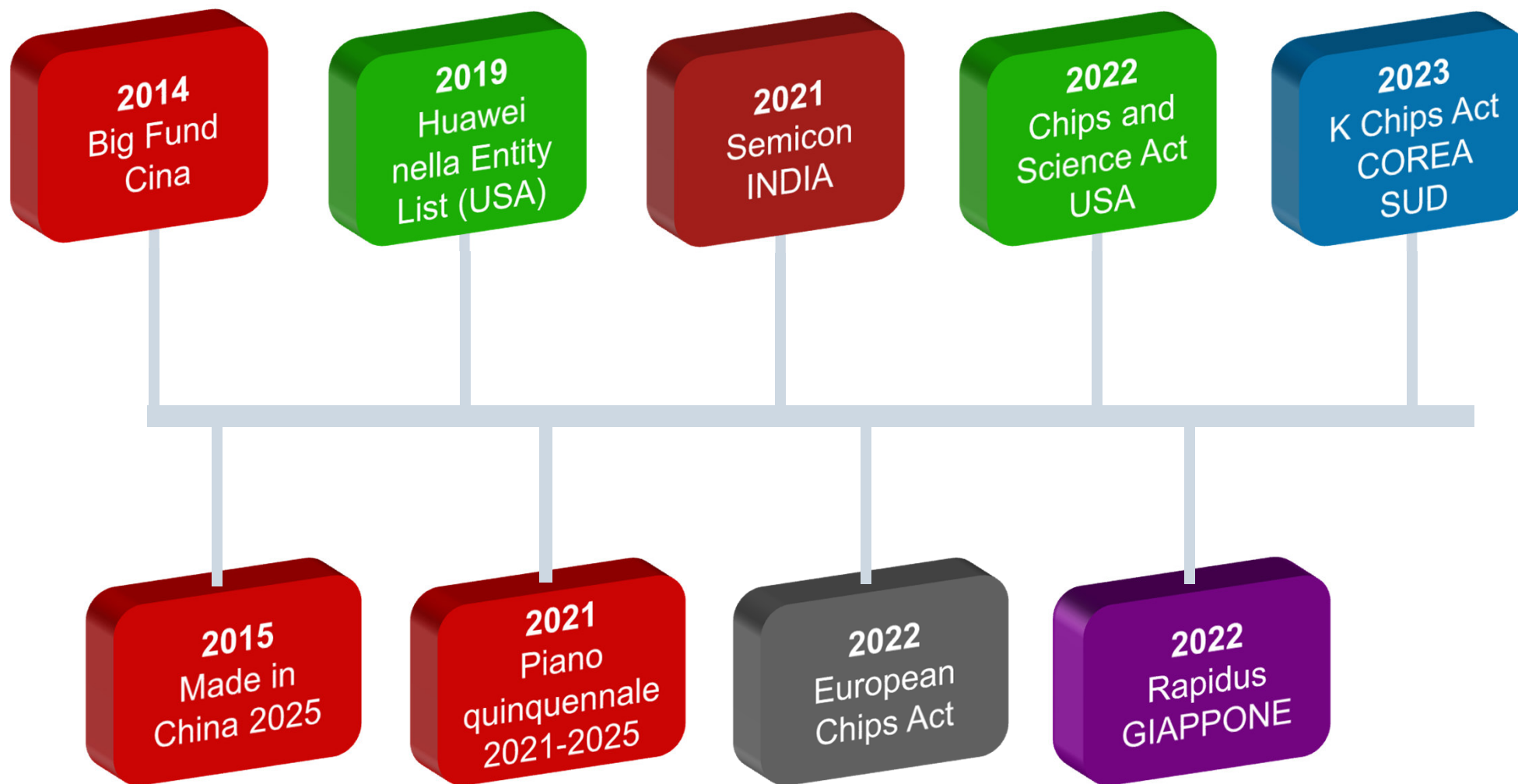
Source: Semi Vision Research

TSMC Global Expansion



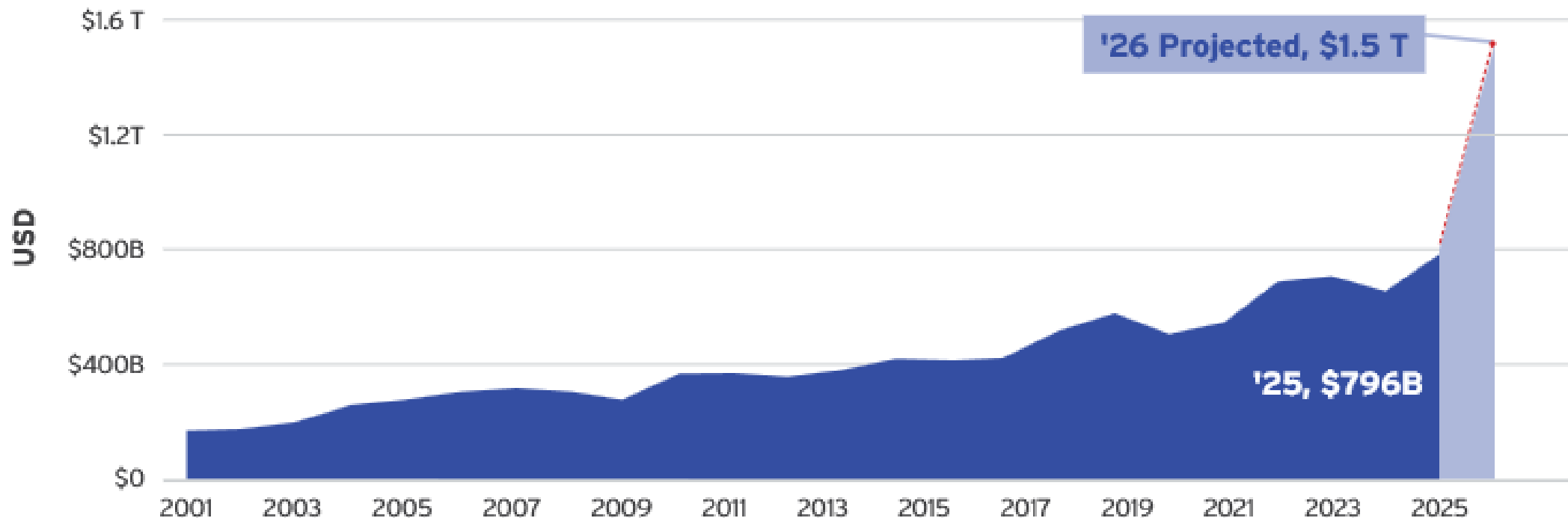
CNA graphic Aug. 8, 2023

Dopo la pandemia e la crisi dei semiconduttori gli Stati entrano in campo nella guerra dei chip



Verso una crisi di sovrapproduzione?

GLOBAL SEMICONDUCTOR SALES, 2001-2025

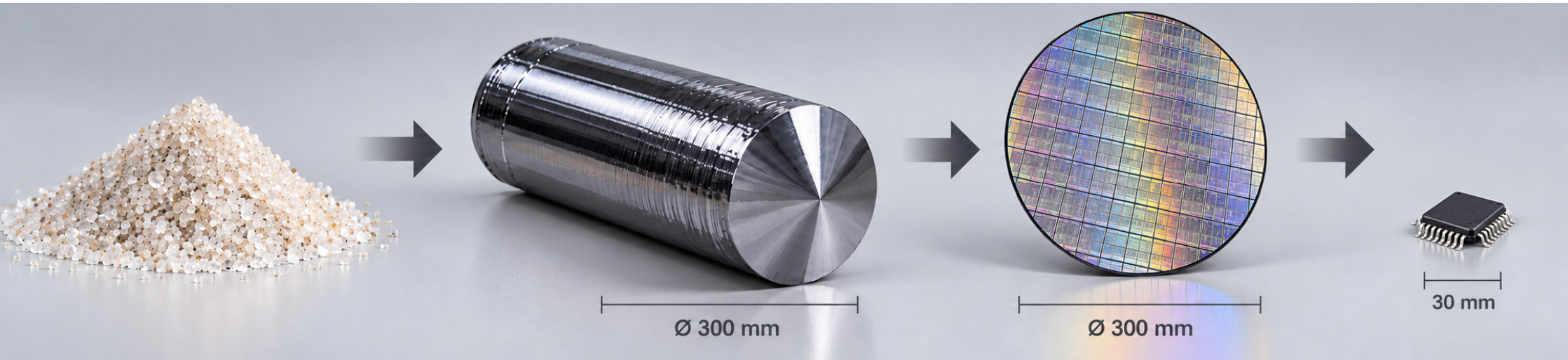


Source: WSTS, Bluebook

Catena del valore



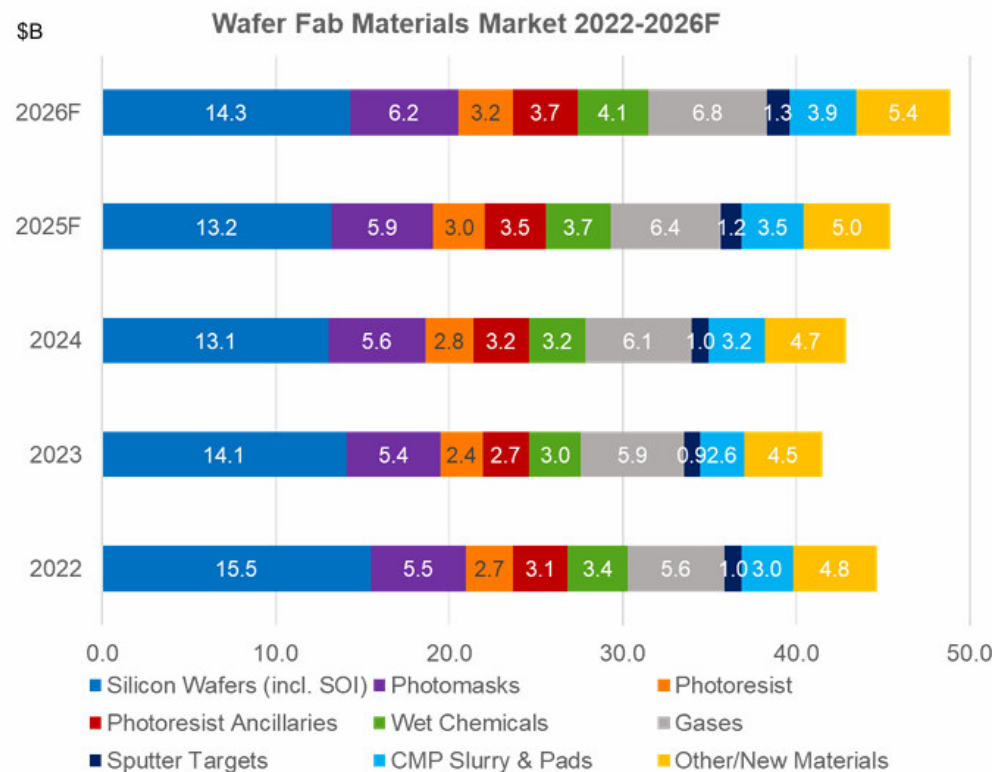
- Materie prime
- Design - Progettazione del microchip
- EDA - Electronic Design Automation
- Macchinari e attrezzature per la produzione
- Frontend – Produzione del chip sul substrato
- Backend – Test e packaging



Il mercato delle materie prime



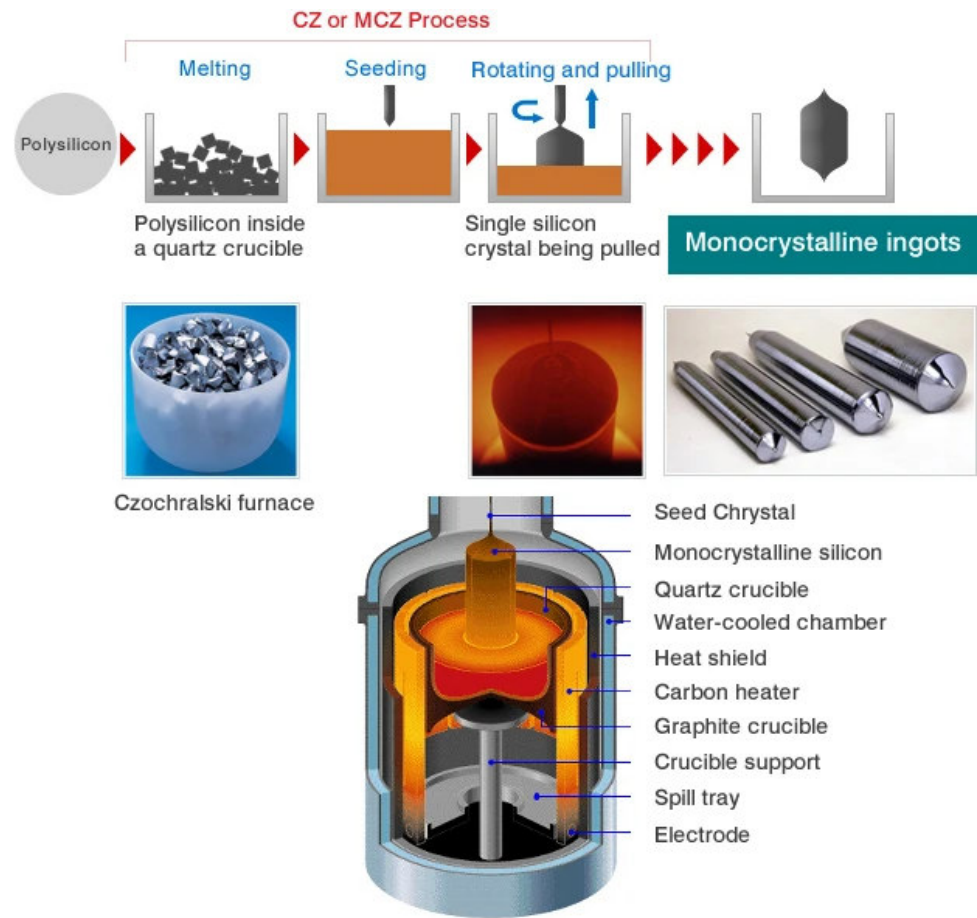
- Il mercato delle materie prime per la produzione di semiconduttori ha raggiunto, secondo SEMI, una dimensione di 45B\$
- Nel 2026 è prevista una crescita del 6% trascinata principalmente dai datacenter AI



Silicio e substrati



- I chip vengono prodotti depositando diversi materiali su un disco di silicio da 200/300mm di diametro
- I substrati compongono circa un terzo del mercato delle materie prime, il 60% è controllato dal Giappone
- La purezza del silicio richiesta arriva ad una impurità ogni 100 miliardi (99,9999999999% di purezza, o 11N)



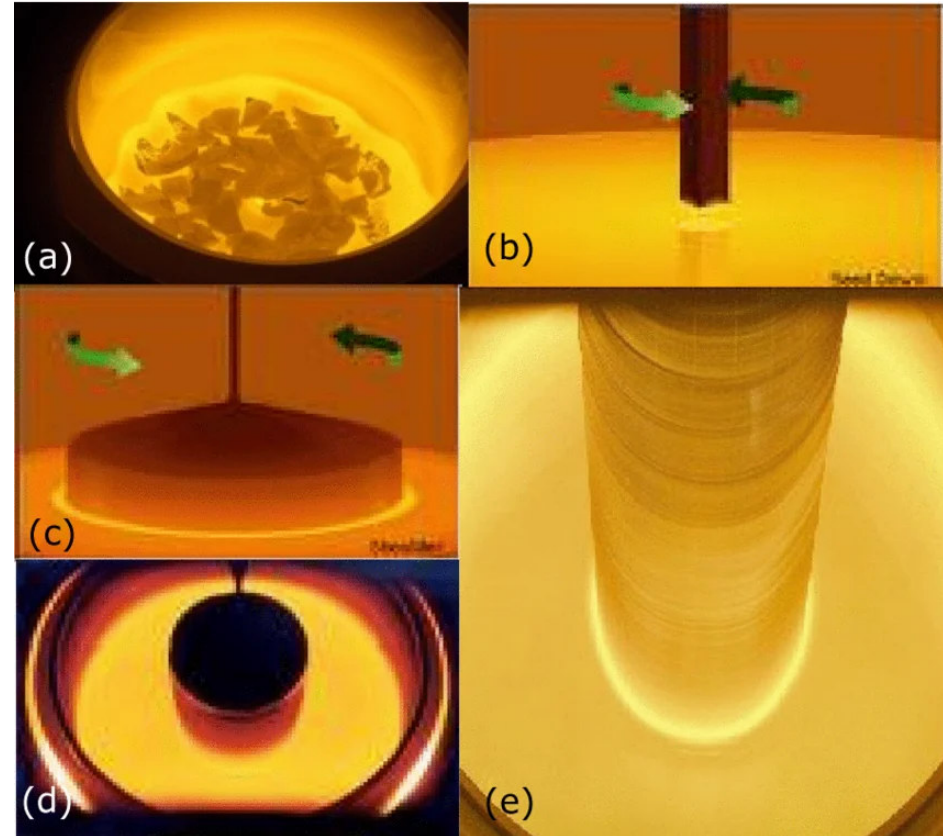
Metodo Czochralski



Per ottenere del silicio monocristallino, del polisilicio viene fuso in un crogiuolo

Una punta in silicio monocristallino viene inserita nel crogiuolo e in seguito elevata e ruotata

Questo processo, estremamente energivoro, produce un lingotto



Substrati “alternativi”



- **Il 95% dei substrati venduti ogni anno sono in silicio monocristallino, ma per determinate applicazioni esistono alternative più performanti:**
 - **Arsenuro di gallio (GaAs)** – Per RF, led o optoelettronica
 - **Nitruro di gallio (GaN)** – Per applicazioni di potenza al alta temperatura
 - **Carburo di silicio (SiC)** – Per dispositivi di potenza ad alte prestazioni e bassa dissipazione

Tecniche di deposizione



PVD – Physical Vapor Deposition

Un gas ionizzato viene sparato contro un lingotto del metallo che si vuole deporre, gli atomi si staccano dal target e si depositano sulla fetta di silicio

CVD – Chemical vapor deposition

Gas (“precursori”) vengono inseriti in una camera, la reazione tra questi produce la sostanza che si vuole deporre e che nel processo precipita sul wafer

ALD – Atomic layer deposition

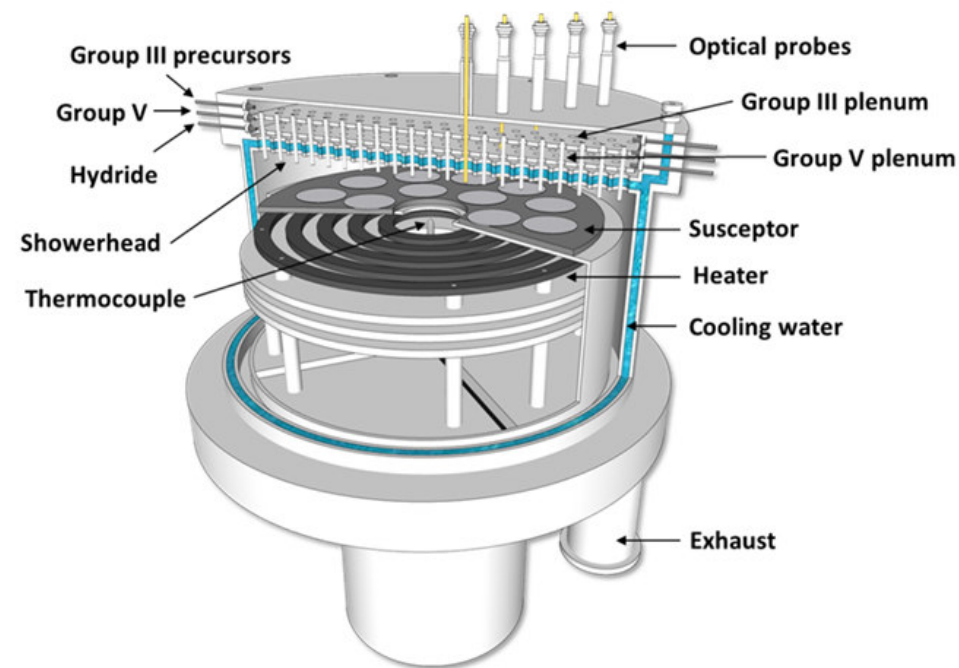
Simile alla CVD, i reagenti vengono inseriti nella camera in maniera sequenziale, permette un controllo “atomico” dello spessore della deposizione

Il wafer viene posizionato in una camera a vuoto

La reazione tra i precursori produce il materiale desiderato

Risultato: un sottile film si deposita sul wafer. Lo spessore varia da 10 nm ad alcuni μm

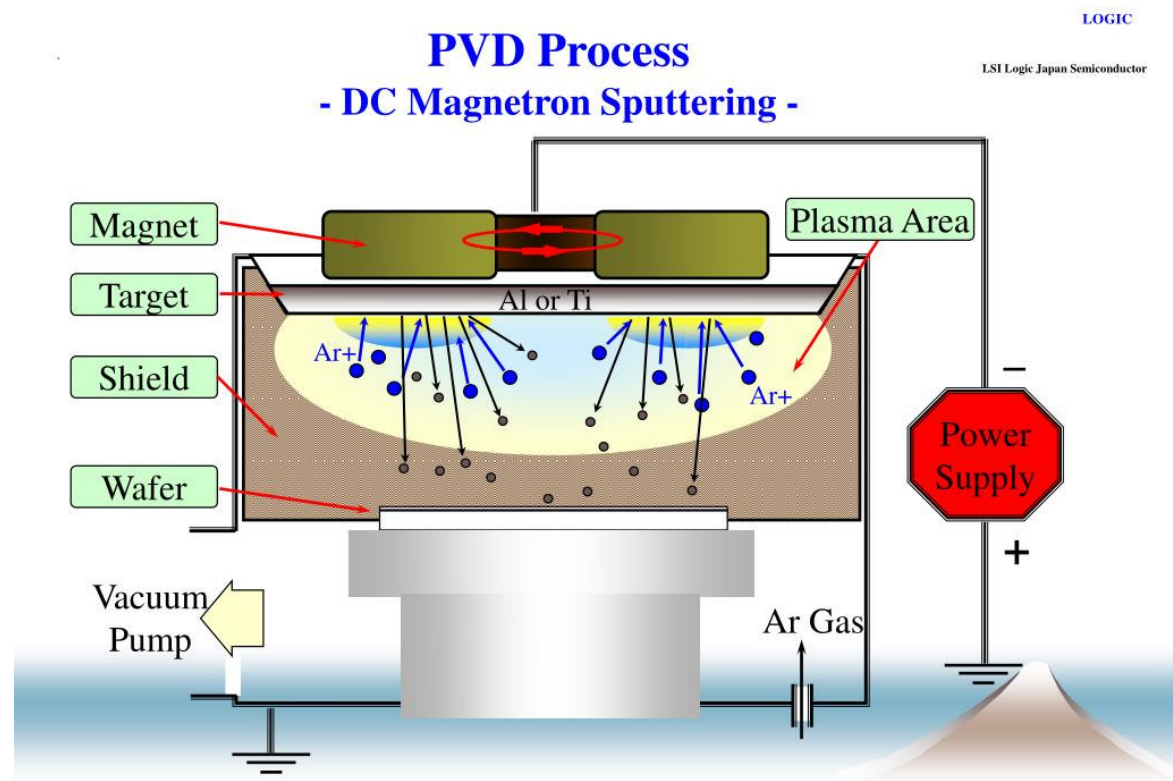
Film depositato sul wafer	Applicazione	Precursori tipici
Diossido di silicio — SiO_2	Isolazione elettrica, dielettrico intra-livello	Silane (SiH_4) + nitrous oxide (N_2O) in PECVD; alternatively TEOS in thermal CVD or with an oxidant in other variants
Nitruro di silicio — Si_3N_4 / SiN_x	Passivazione, barriere protettive, etch masks	Silane (SiH_4) + ammonia (NH_3); some PECVD processes use $\text{SiH}_4 + \text{N}_2$
Ossinitruro di silicio — SiO_xN_y	Strati dielettrici e ottici con proprietà modificabili	$\text{SiH}_4 + \text{NH}_3 + \text{N}_2\text{O}$
Polisilicio — poly-Si	Elettrodi, resistenze e altre strutture dei dispositivi	Silane — SiH_4
Silicio amorfo — a-Si:H	Thin-film electronics e applicazioni fotovoltaiche	Silane — SiH_4 , often diluted in a carrier gas
Tungsteno — W	Riempimento VIAs	Tungsten hexafluoride (WF_6) + hydrogen (H_2); silane may also be used
Nitruro di titanio — TiN	Barriere conduttive alla diffusione ed elettrodi	Titanium tetrachloride (TiCl_4) + ammonia (NH_3); metal-organic alternatives also exist



Una sorgente solida del materiale “target” viene fatta evaporare tramite bombardamento ionico

Il materiale evaporato si deposita successivamente sul wafer

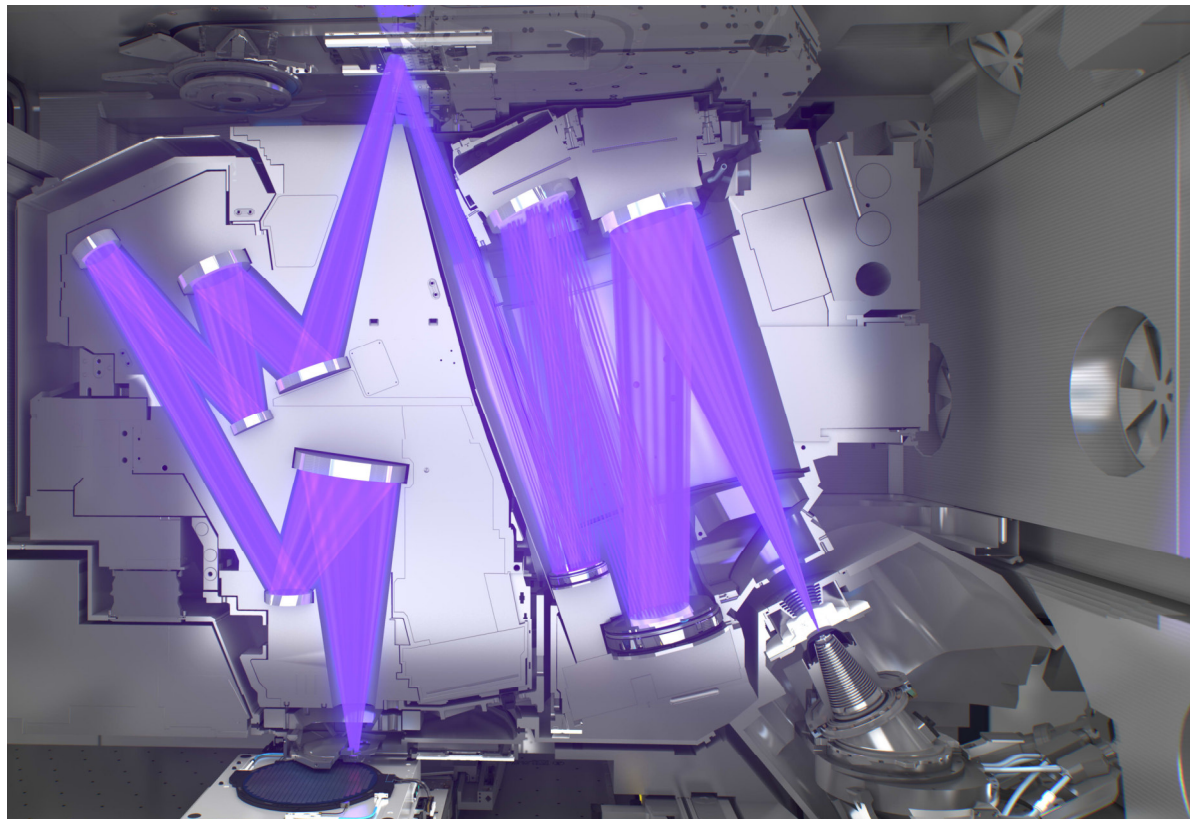
Film depositato sul wafer	Applicazione
Alluminio — Al e leghe Al-Cu	Interconnessioni, contatti e metallizzazioni
Rame — Cu	Strato iniziale (seed) per la successiva crescita del rame
Titanio — Ti	Strati di adesione e rivestimento dei contatti
Nitrato di titanio — TiN	Barriere conduttive alla diffusione ed elettrodi
Tantalio — Ta	Strati di rivestimento nelle interconnessioni in rame
Nitrato di tantalio — TaN	Barriera contro la diffusione del rame negli strati circostanti
Tungsteno — W e leghe Ti-W	Elettrodi, metallizzazioni e strati barriera
Nichel — Ni e leghe Ni-V	Metallizzazioni di contatto



Litografia

La fotolitografia è la fase di fabbricazione che assorbe la maggior parte del CAPEX (20-25%) e il 30-40% del costo finale del chip

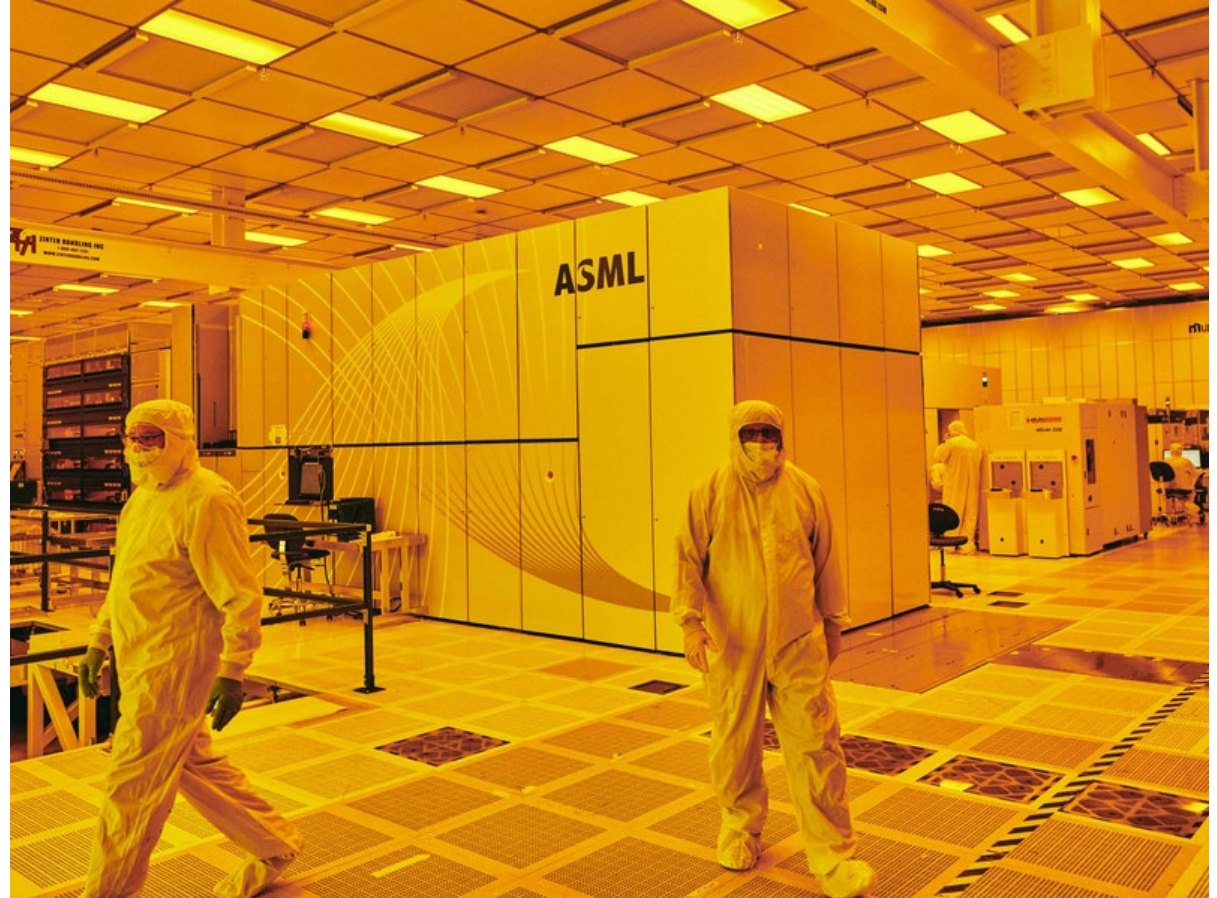
In questa fase il “disegno” del chip viene proiettato sul wafer con luce UV o EUV tramite delle maschere, è la fase che determina la dimensione critica (la struttura più piccola fabbricabile)



Litografia



Le aree di litografia utilizzano luci gialle per evitare l'esposizione involontaria del photoresist, sensibile soprattutto alla luce ultravioletta e alle componenti blu dello spettro



Materiali per la litografia

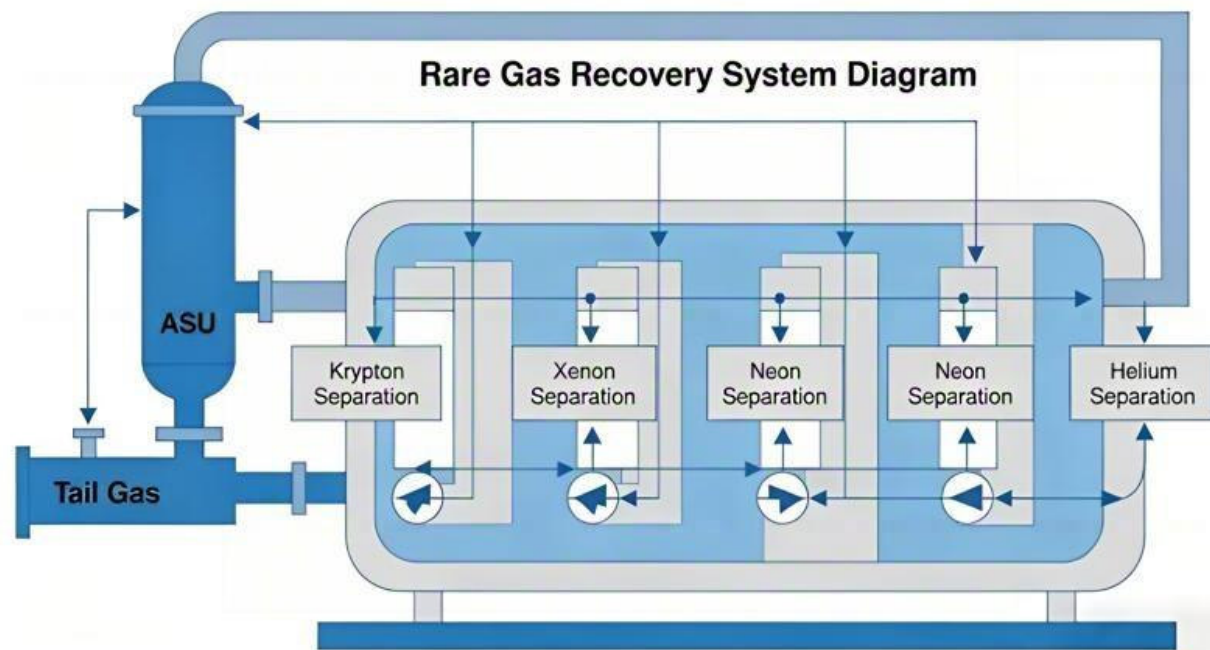


Applicazione	Materiali principali	Funzione
Generazione della luce DUV	Miscele di gas con argon e fluoro (ArF) oppure kripton e fluoro (KrF)	Producono la luce laser a 193 o 248 nm
Generazione della luce EUV	Goccioline di stagno (Sn)	Colpite da un laser, formano un plasma che emette luce a 13,5 nm
Ottiche	DUV: silice sintetica e fluoruro di calcio; EUV: specchi multistrato di molibdeno e silicio	Guidano e focalizzano la luce sul wafer
Ambiente del percorso ottico	EUV: vuoto con idrogeno a bassa pressione; DUV a immersione: acqua ultrapura fra lente e wafer	Limitano contaminazione e assorbimento; l'acqua migliora la risoluzione
Photoresist	Formulazioni fotosensibili, tipicamente resine, componenti fotoattivi e solventi	Registrano il disegno attraverso una trasformazione chimica indotta dalla luce
Promotore di adesione	HMDS — esametildisilazano	Favorisce l'adesione del resist alla superficie
Rivestimento antiriflesso	Materiali organici o inorganici, secondo il processo	Riducono le riflessioni che possono deformare il disegno
Sviluppo del resist	Spesso soluzioni acquose di TMAH	Rimuovono selettivamente le parti solubili del resist, facendo emergere il disegno

ASU

Gas come Xenon, Neon o Krypton, necessari per la litografia, sono estratti dall'atmosfera tramite le Air Separation Units (ASU)

Data la rarità di questi gas, sono necessarie ASU di grandi dimensioni, presenti principalmente in prossimità di impianti siderurgici



ASU e siderurgia



La guerra in Ucraina e lo stop temporaneo della produzione siderurgica in Cina nel 2022 hanno portato ad un calo dell'attività delle Large ASUs, quindi della produzione di gas rari.

Questo calo ha contribuito allo shortage dei microchip che ha avuto ricadute sul mondo dell'auto



Dalla chimica alla politica



Il recente blocco del traffico commerciale nello stretto di Hormuz ha avuto ricadute sulla fornitura di elio, un gas fondamentale per i semiconduttori (e non solo)

La guerra dei dazi USA-Cina mette a repentaglio la fornitura di tungsteno, metallo utilizzato nei semiconduttori per le sue caratteristiche fisiche uniche

Il massimo della capacità ingegneristica e produttiva dell'uomo rimane così esposta alle tempeste dello scontro tra le potenze