

Dalle Reti Neurali all'Intelligenza Artificiale: Innovazione, Sfide e Futuro

Lorenzo Pavesi
University of Trento
Italy



- Disclaimer
 - Slides in italian and in english
 - I am not a computer scientist
 - I am working on this since 6 years
- Spoiler
 - Future is the hybrid brain/computer system

Star Wars



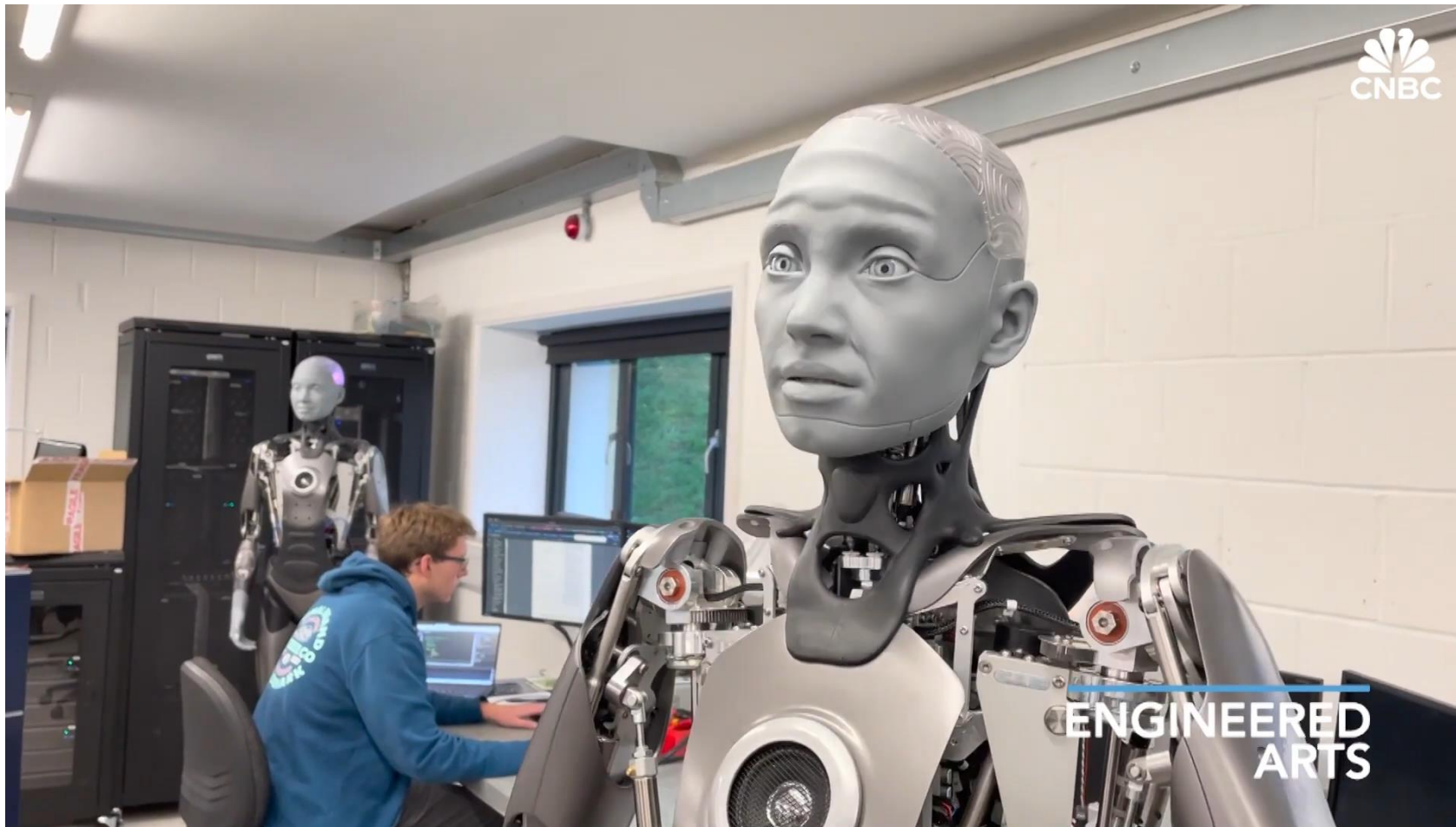
EX_MACHINA



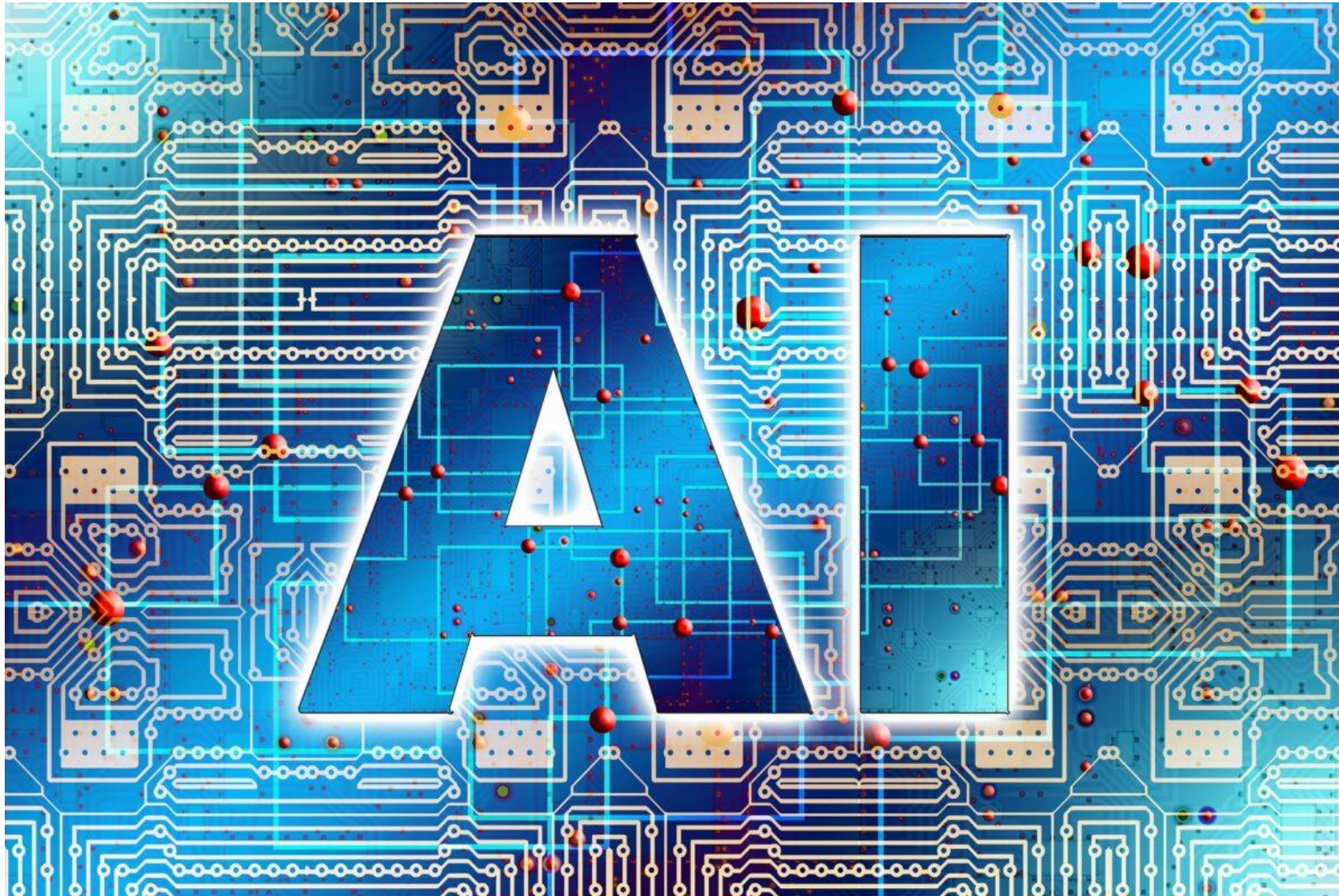
Sophia (<https://www.hansonrobotics.com/>)



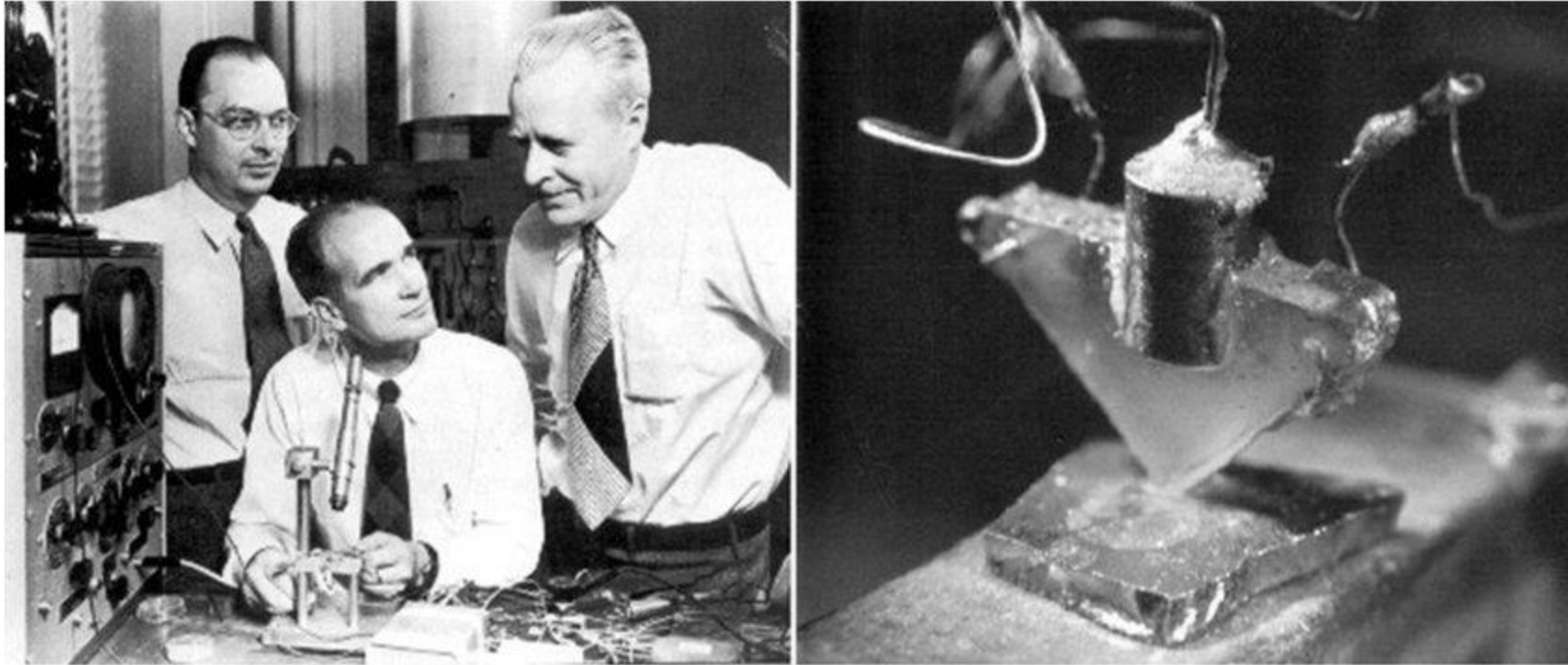
AMECA (<https://engineeredarts.com/>)



Artificial Intelligence

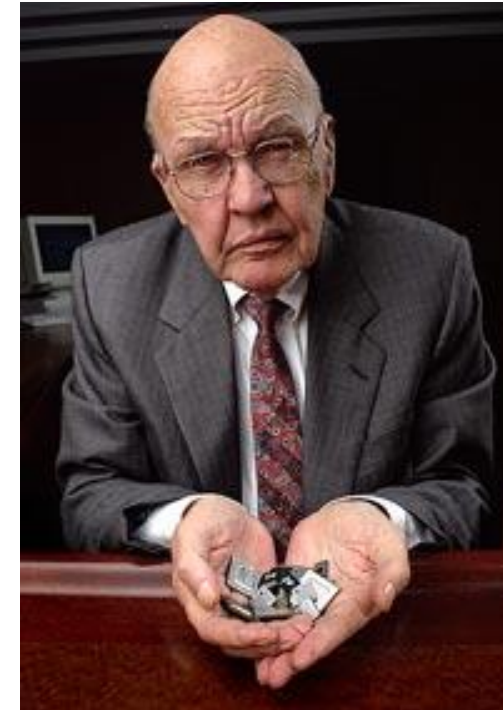
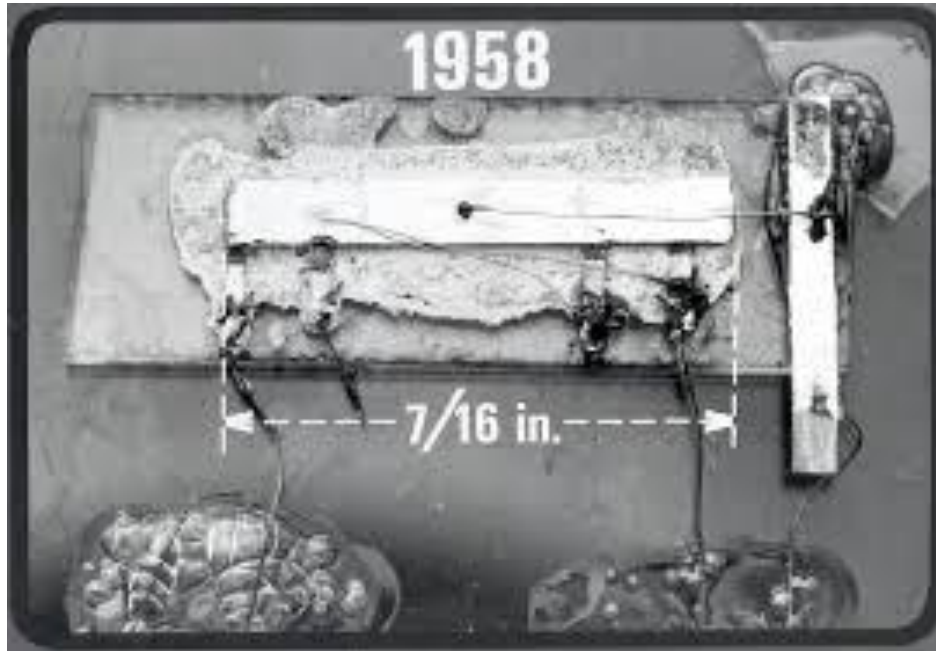


Dicembre 1947: invenzione del transistor



Three American physicists, John Bardeen, Walter H. Brattain, and William Shockley were jointly awarded the 1956 Nobel Prize in Physics for “their investigations on semiconductors and the discovery of the transistor effect”.

Settembre 1958: primo circuito integrato



On 12 September 1958, Jack S. Kilby demonstrated the first working integrated circuit to managers at Texas Instruments.

He was awarded the Nobel Prize in Physics on 10 December 2000.

Aprile 1965: legge di Moore

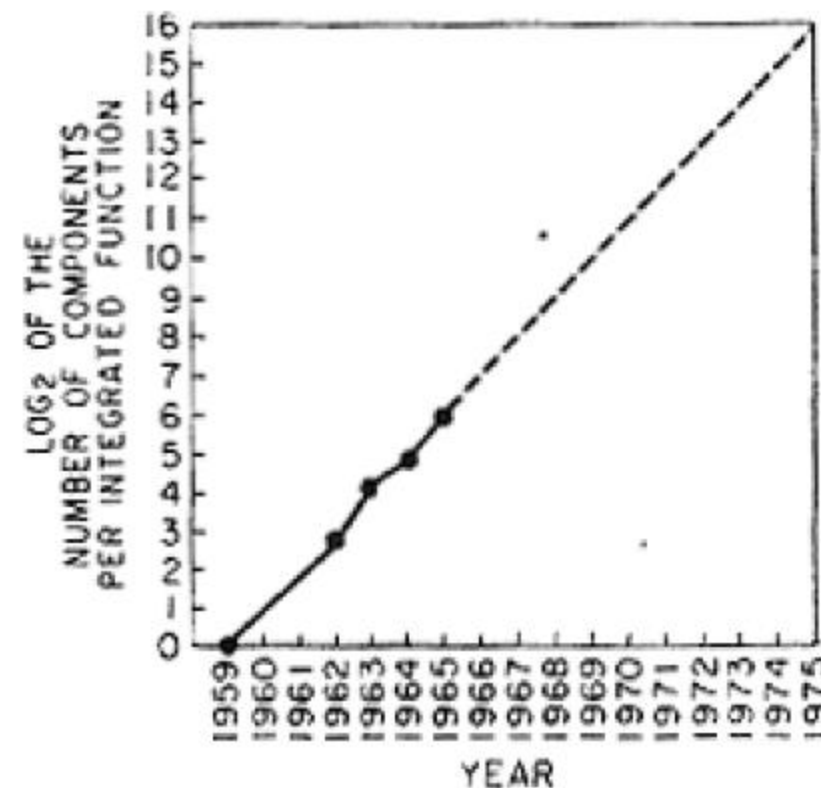
The experts look ahead

Cramming more components onto integrated circuits

With unit cost falling as the number of components per circuit rises, by 1975 economics may dictate squeezing as many as 65,000 components on a single silicon chip

By Gordon E. Moore

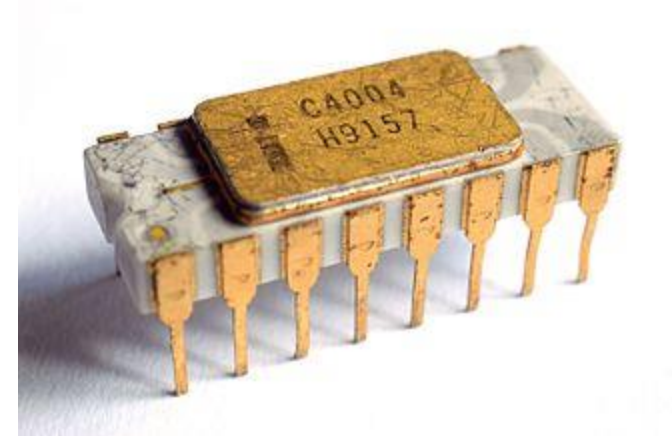
Director, Research and Development Laboratories, Fairchild Semiconductor division of Fairchild Camera and Instrument Corp.



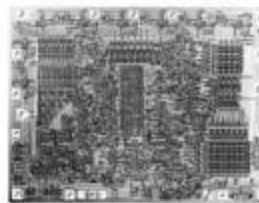
Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965

Novembre 1971: primo microprocessore

- The **Intel 4004**, released by the [Intel Corporation](#) in 1971, was the first commercially produced [microprocessor](#) and the first in a long line of [Intel central processing units](#) (CPUs). Priced at [US\\$60](#) (equivalent to \$466 in 2024), it marked a breakthrough in computing by condensing an entire [4-bit](#) CPU onto a single chip.



4004
2300 transistors

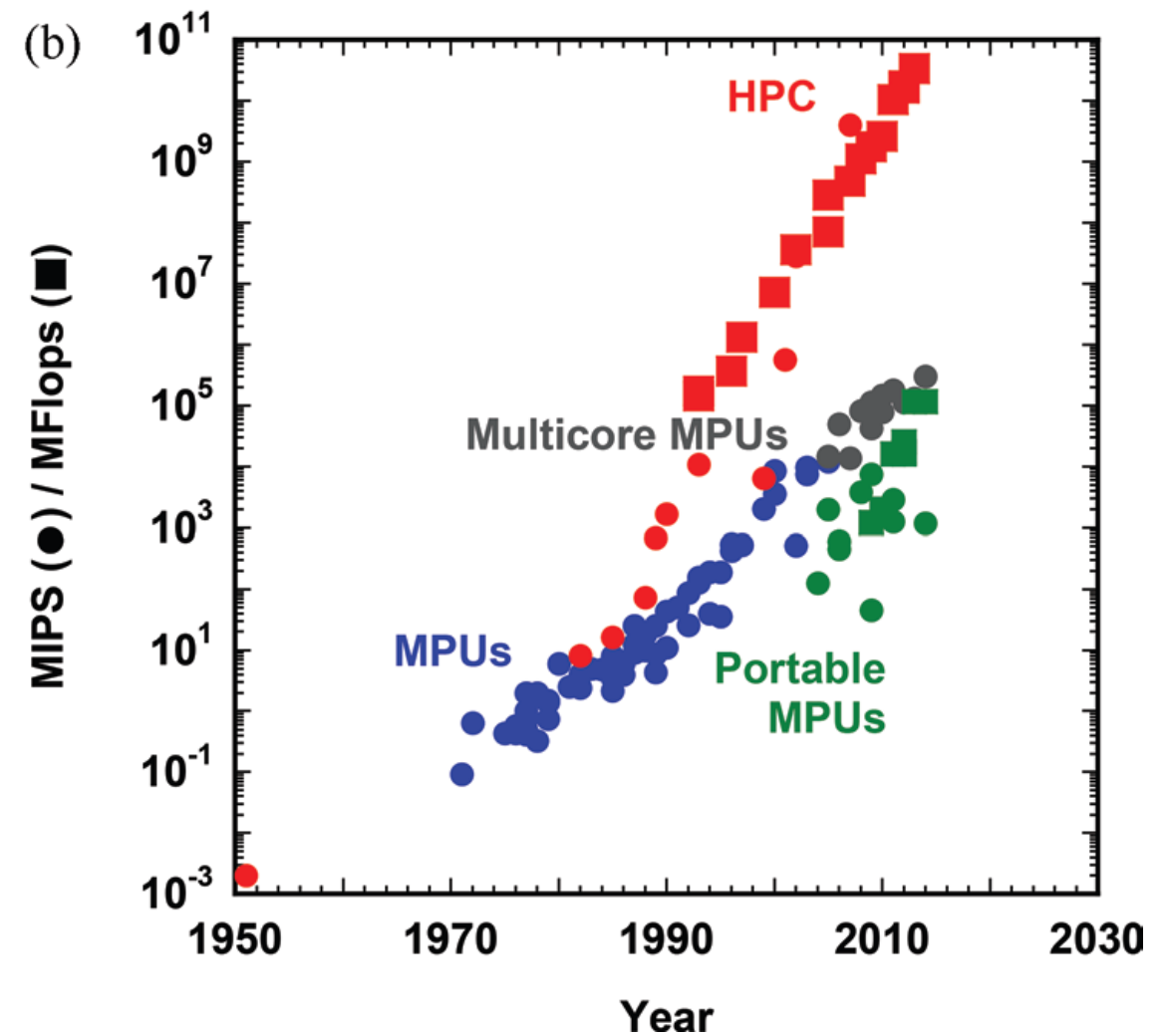
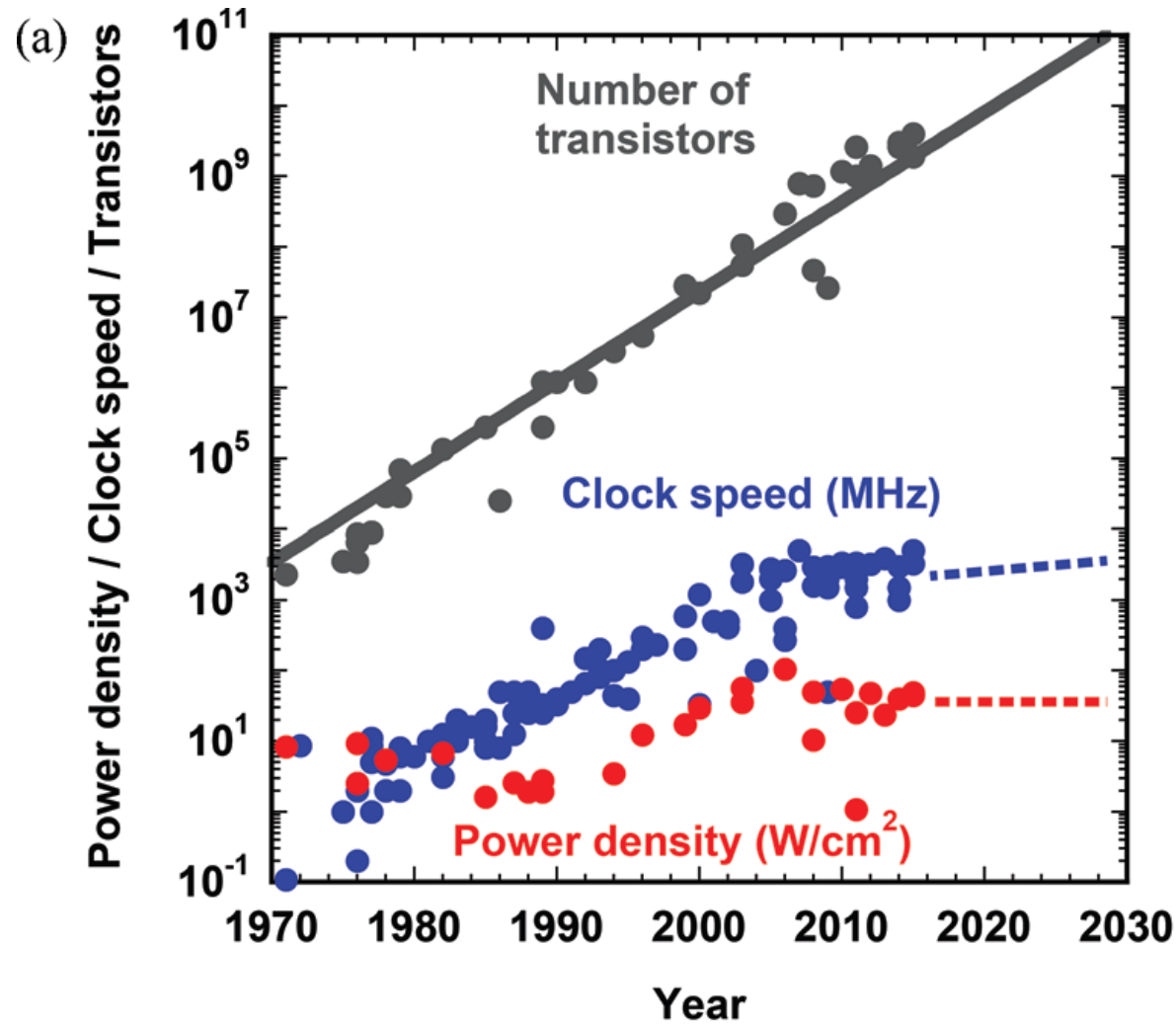


8008
3098 transistors

Marcian “Ted” Hoff (PhD '62 EE), is best known as the architect of the first microprocessor. Intel's 4004 was released in November 1971, 35 years ago this month.

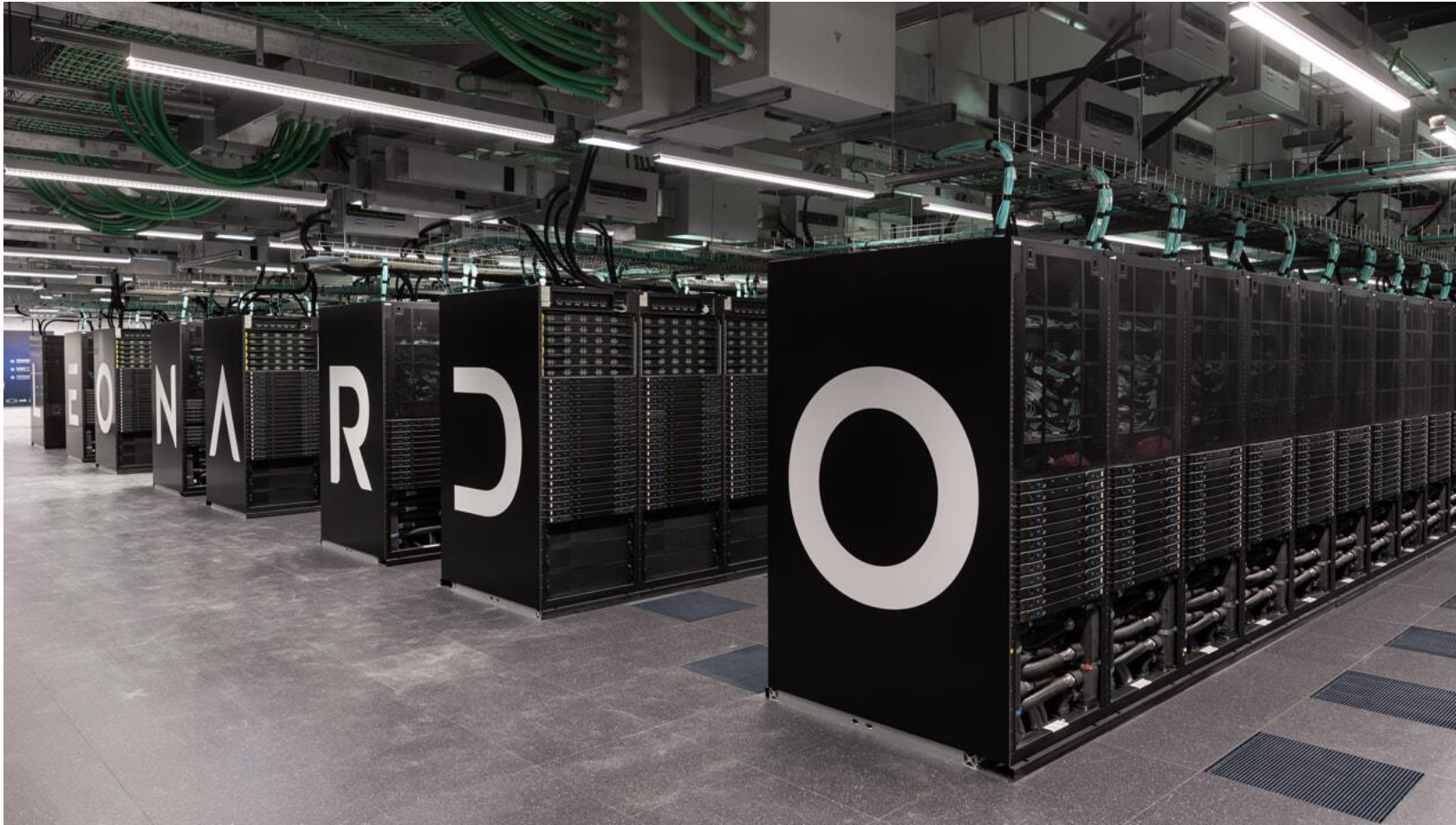
Design work, led by Federico Faggin with contributions from Masatoshi Shima, began in April 1970. T

Oggi



Fagas, Giorgos & Paul, Douglas. (2017). ICT - Energy Concepts for Energy Efficiency and Sustainability. 10.5772/62522.

Leonardo: supercomputer italiano



Oggi



John J. Hopfield

Born: 15 July 1933, Chicago, IL, USA

Princeton University, Princeton, NJ, USA

Geoffrey Hinton

Born: 6 December 1947, London, United Kingdom

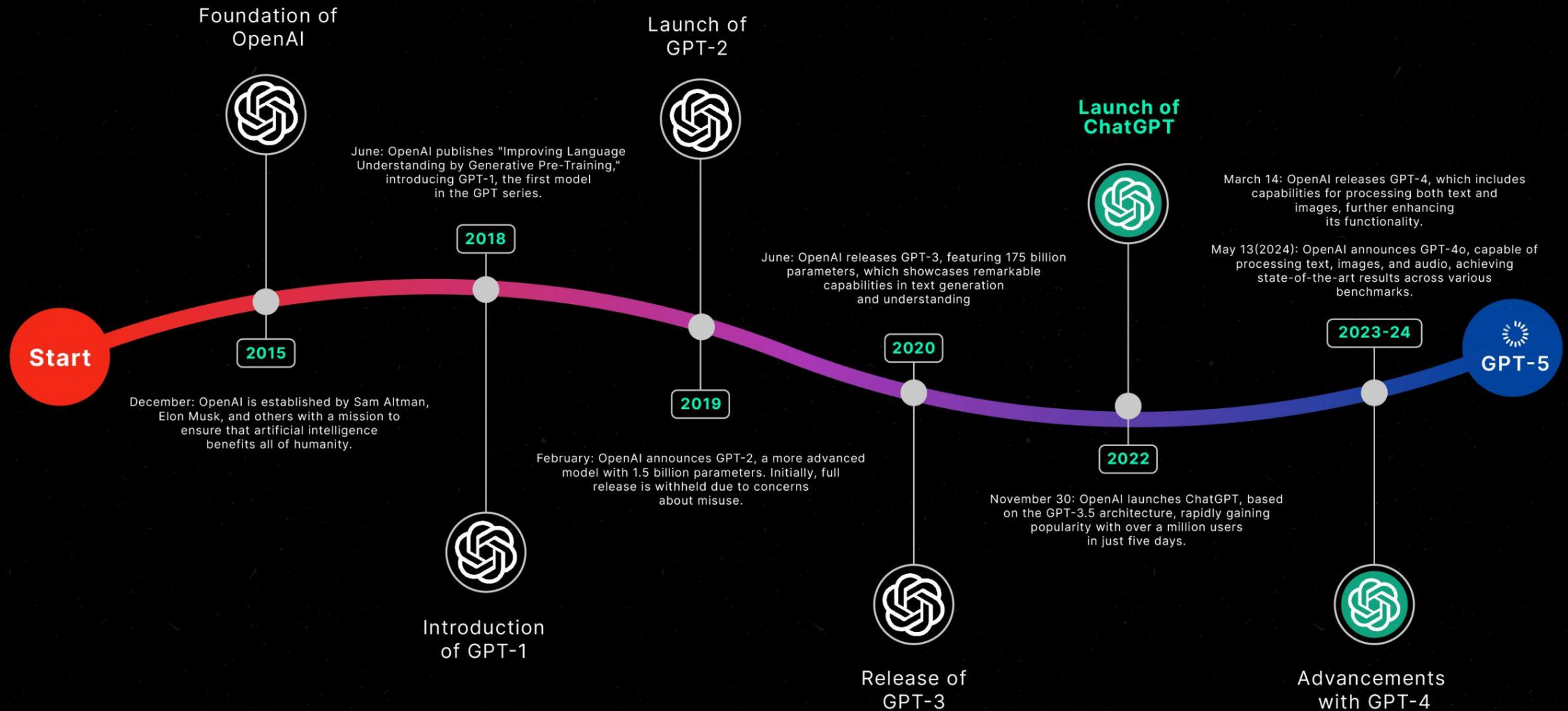
University of Toronto, Toronto, Canada

John Hopfield created a structure that can store and reconstruct information.

Geoffrey Hinton invented a method that can independently discover properties in data

The 2024 Nobel Prize in Physics has been awarded to John J. Hopfield and Geoffrey E. Hinton for their pioneering contributions to harnessing principles from physics to establish foundational methods in machine learning.

OpenAI's GPT Timeline






















Cos'è ChatGPT

ChatGPT (acronimo di Chat Generative Pre-trained Transformer, lett. "trasformatore generativo pre-addestrato")

- Modello AI, lunghe equazioni matematiche
- Generative AI, AI che produce contenuto
- Pre-trained, ovvero addestrati a dare risposte sulla base di un modello statistico
- Transformer, ovvero convertono il testo in vettori numerici, ossia rappresentazioni matematiche, che vengono elaborate per generare risposte.

Evoluzione dell'AI

GPT MODELS COMPARISON CHART					
Model	Size	Memory capacity	Accuracy	Input formats	Price
GPT-3	 175B	 1,500 words	 <60%	  Text, speech	
GPT-3.5	 20B	 8,000 words	 <60%	  Text, speech	
GPT-4 <i>greenice</i>	 >1T (?)	 25,000- 64,000 words	 >80%	   Text, speech, image	

Evoluzione dell'AI

GPT4 Model Estimates

Training Size

of Book shelves for 13T tokens

650 kms

Long line of Library Shelves



100000 tokens per Book
100 Books per shelf
2 Shelves per meter

Compute Size

Compute time for 2.15 e25 FLOPs

7 million years

On mid-size Laptop (100GFLOPs)



100GLOPs per second

Model Size

Size of Excel Sheet for 1.8T params

30,000

Football Fields sized Excel Sheet



1x1 cm per Excel cell
100 x 60 meters Field Size

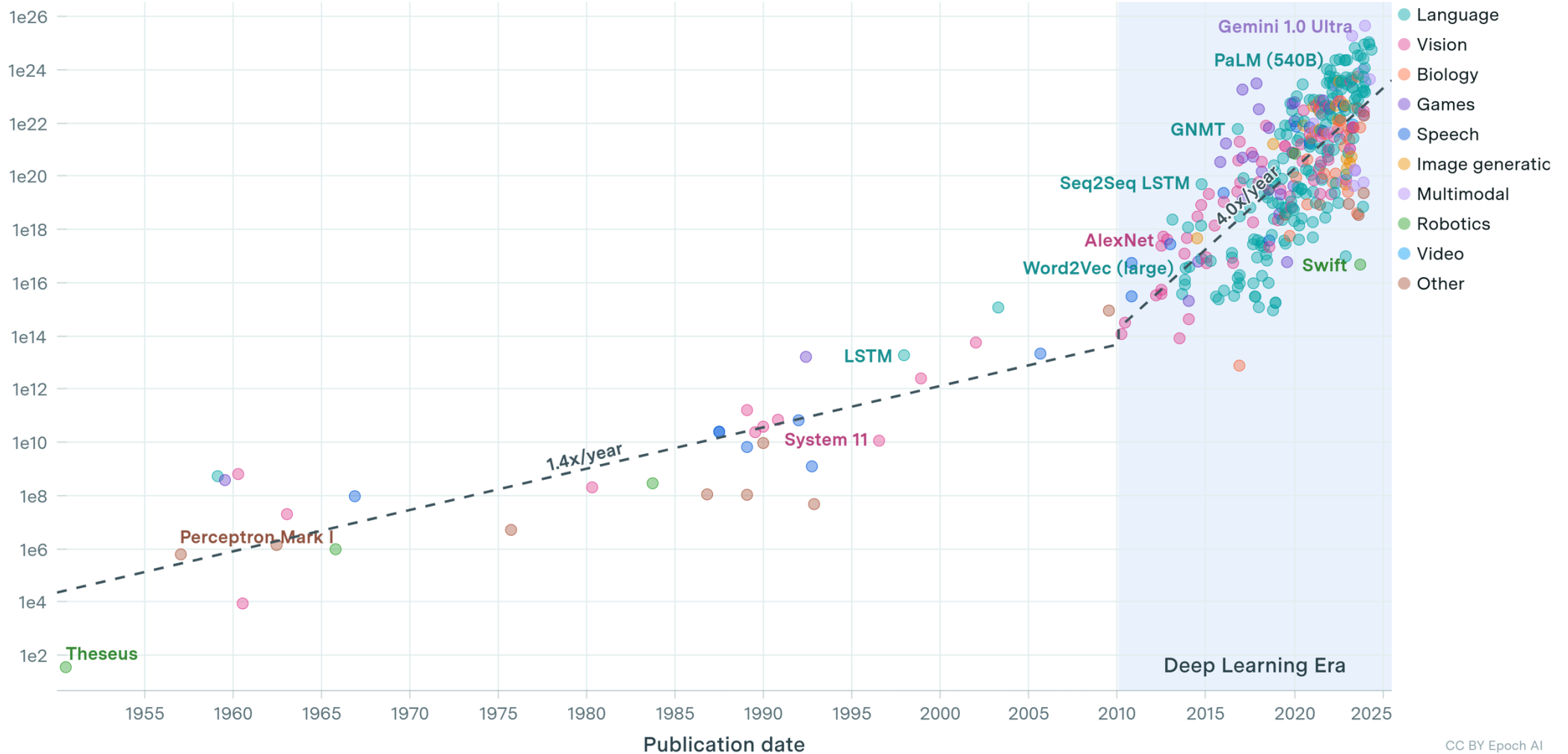
Source: <https://the-decoder.com/gpt-4-architecture-datasets-costs-and-more-leaked>

Evoluzione dell'AI

EPOCH AI

Notable AI models

Training compute (FLOP)

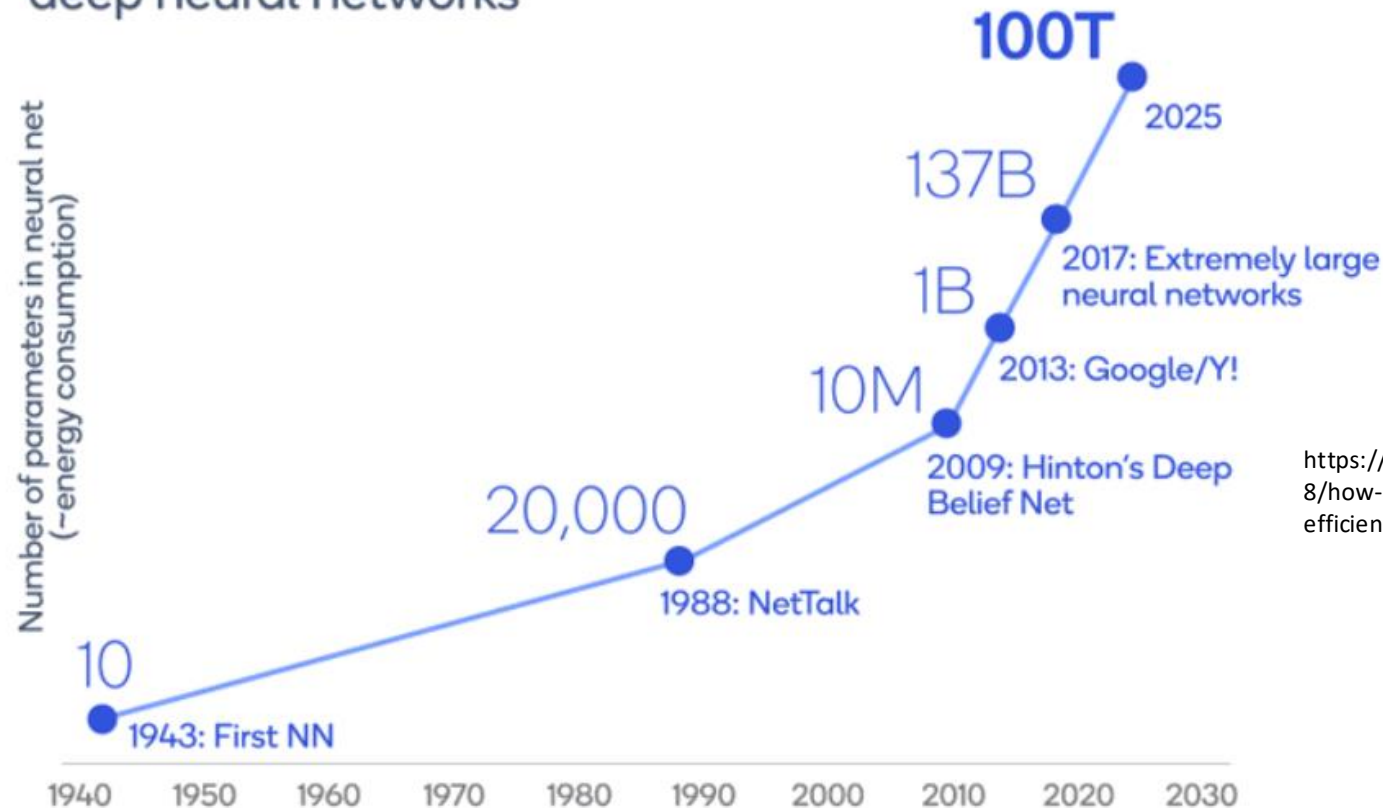


CC BY Epoch AI

Evoluzione dell'AI

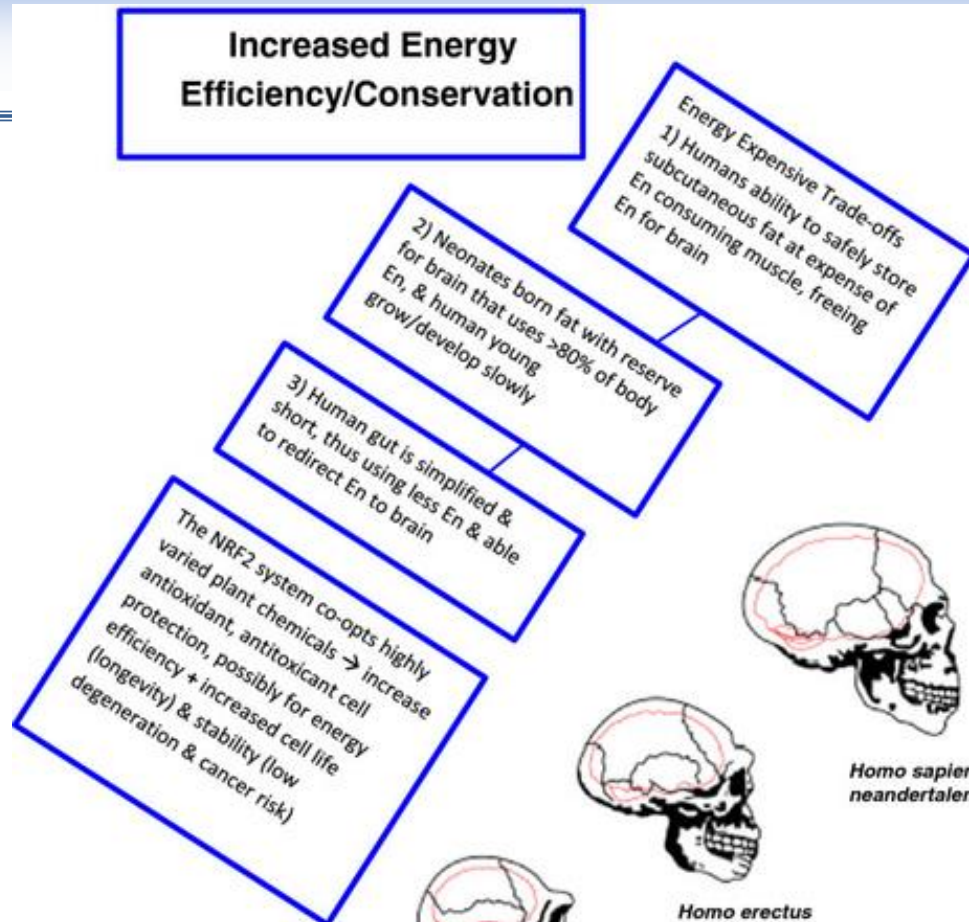
Deep neural networks are energy hungry and growing fast

AI is being powered by the explosive growth of deep neural networks



<https://www.qualcomm.com/news/onq/2018/08/how-algorithmic-advances-make-power-efficient-ai-possible>

Increased Energy Efficiency/Conservation



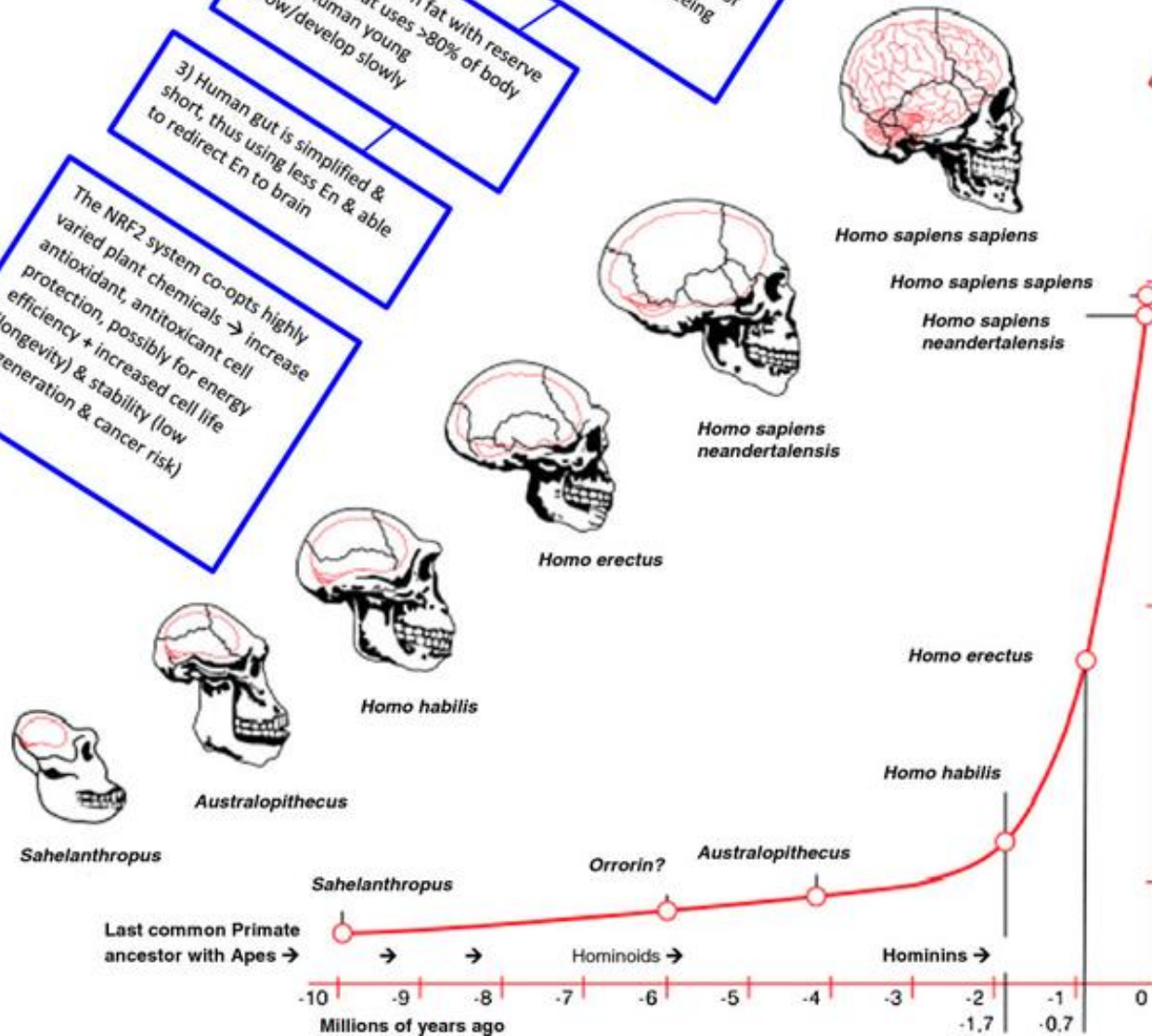
Increased Energy Uptake

Technologies – agriculture: animal/plant domestication, breeding, mass-mechanised farming & food production, synthetic chemical use, transport, megastructures, electricity, trade, city living, electronic communication

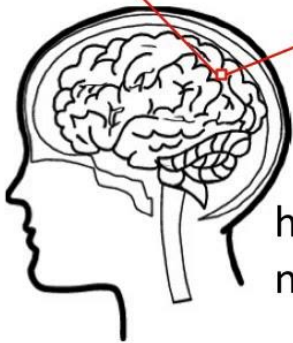
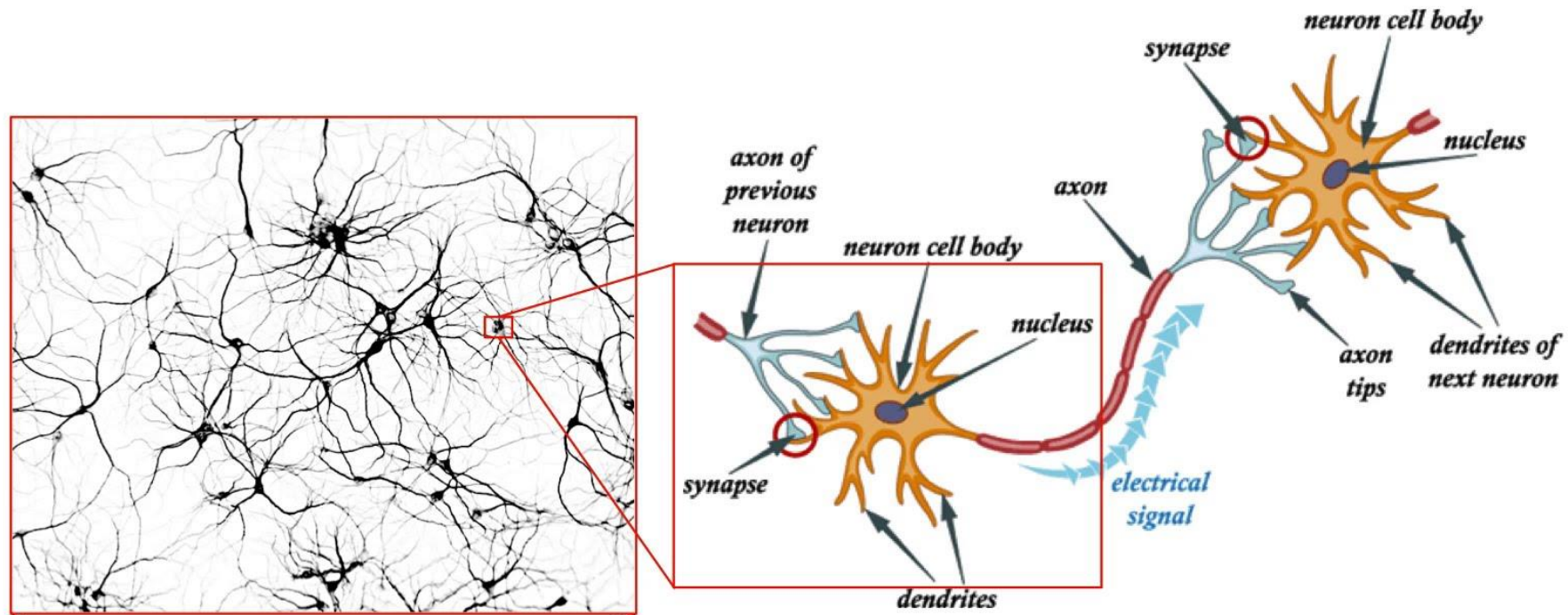
Technologies – prehensile forelimb/bipedalism → dig, trap, cook, store food

Omnivory → more energy ie animal fat brain muscle + micronutrient (mineral) + fruit sugars/seed oils

Expansion of brain Cortico-Limbic-Striatal reward, motivation and fine motor coordination for energy dense food procurement

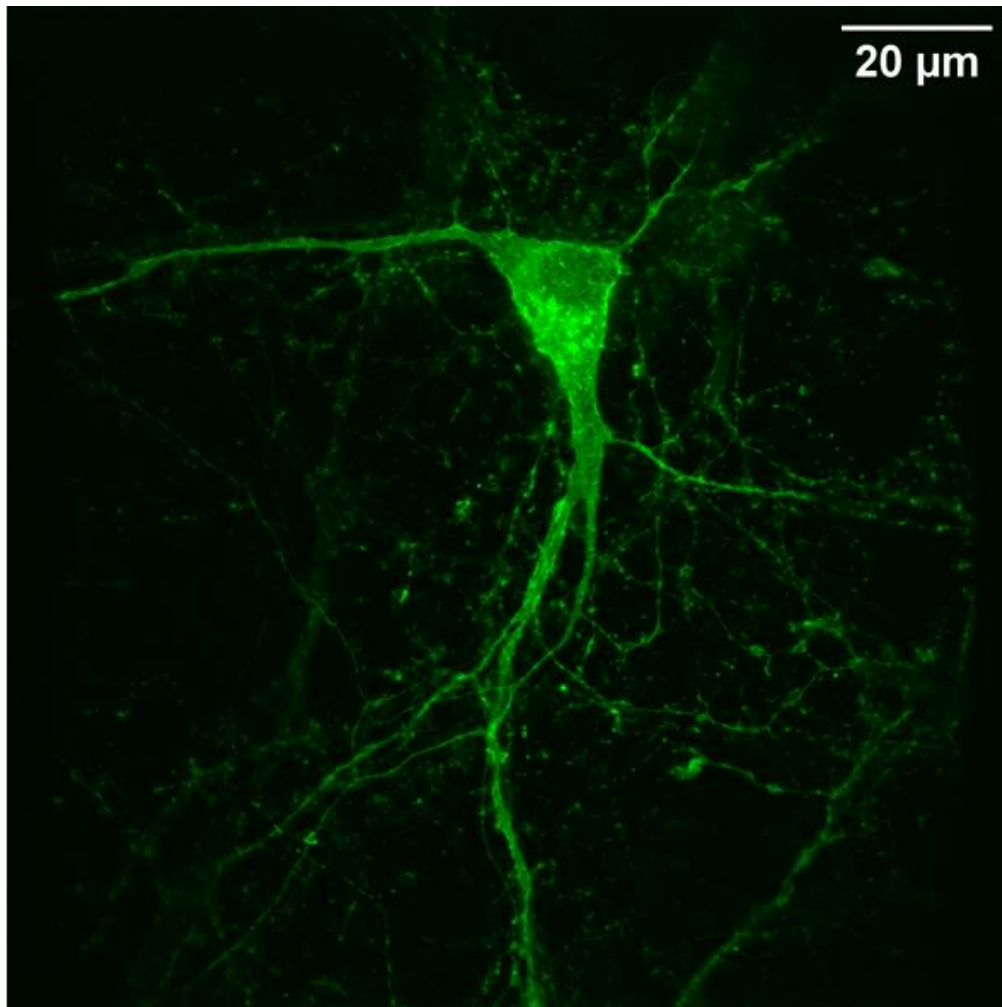


Neurons and the brain

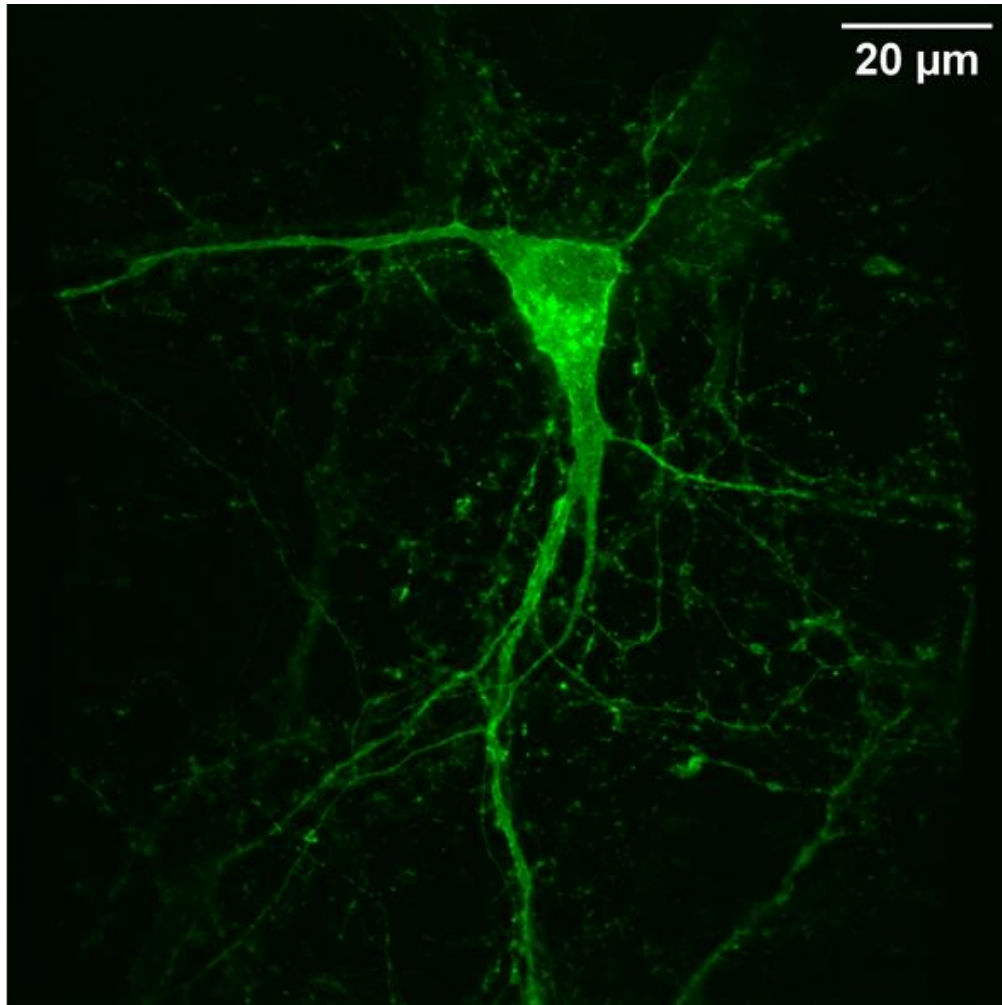


humans don't
need features

Il neurone



Il neurone



il transistor



Neurone vs Transistor

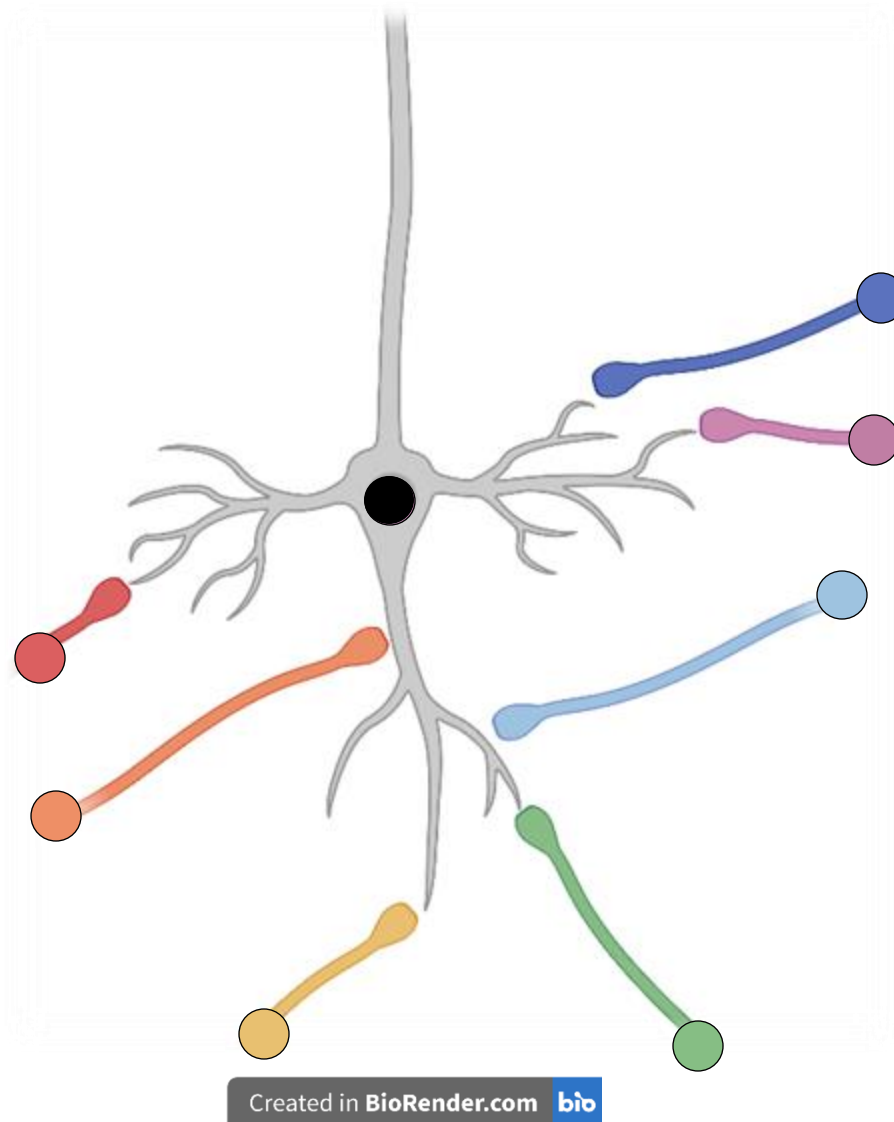
Neurone: chimica del carbonio

- È un integratore
- Agisce sulla base degli eventi
- Non consuma se non quando opera
- Molti input- un solo output
- Genera impulsi (potenziale d'azione)
- È lento (ms)

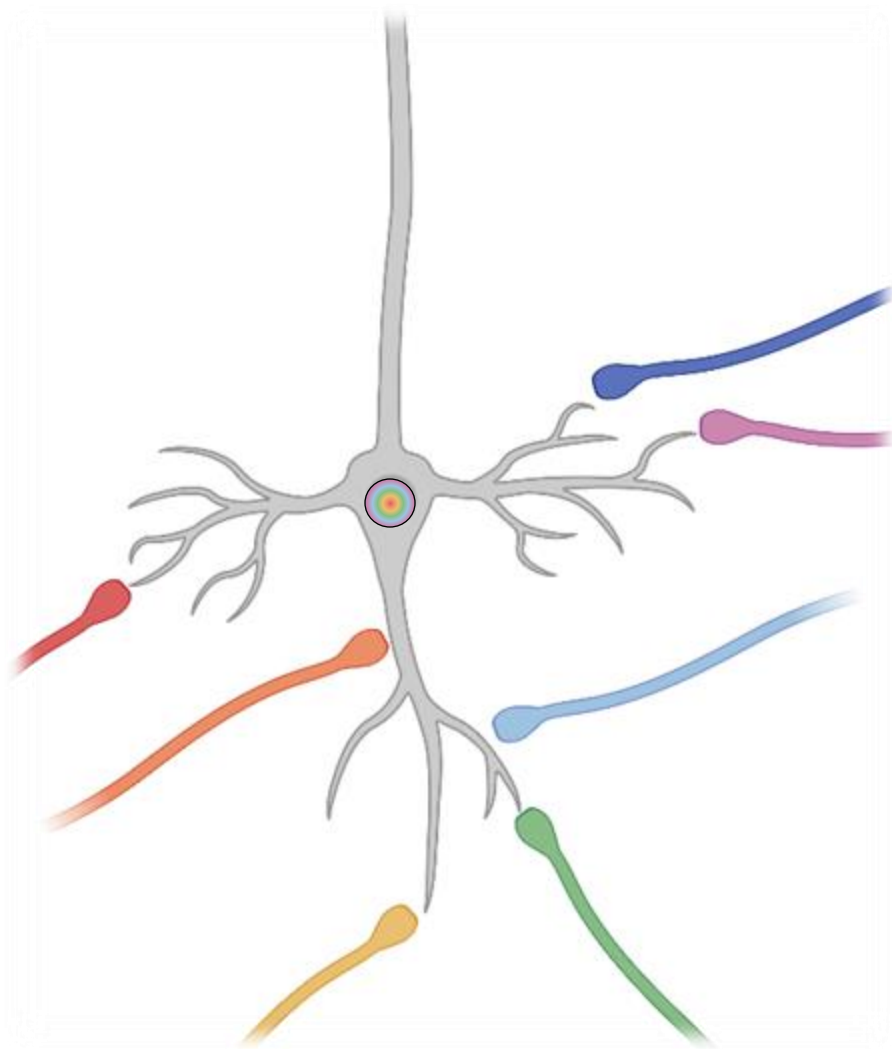
Transistor: chimica del silicio

- È un interruttore
- Agisce in base ad un clock
- Assorbe sempre energia
- Un input un output un controllo
- Binario, livelli di tensione
- È veloce (ps)

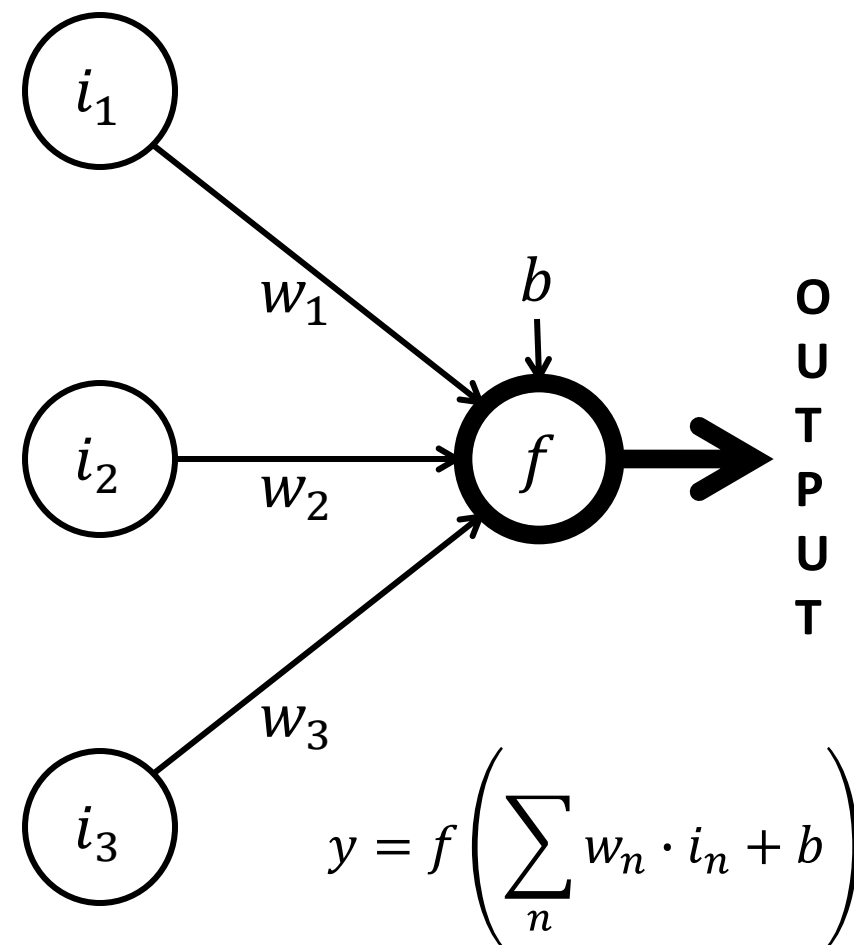
Neurone artificiale: il percettore



Neurone artificiale: il percettrone

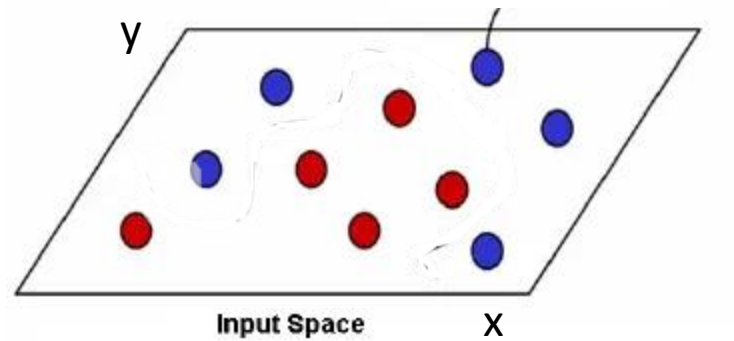


Created in BioRender.com bio



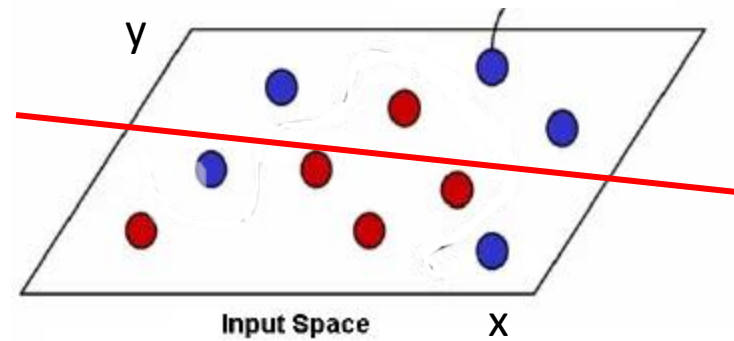
Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)$$



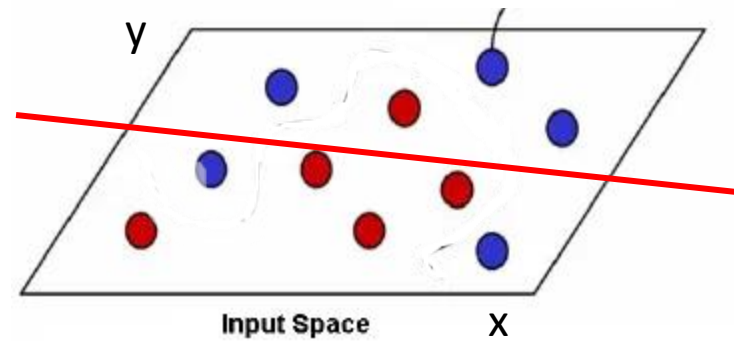
Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)$$



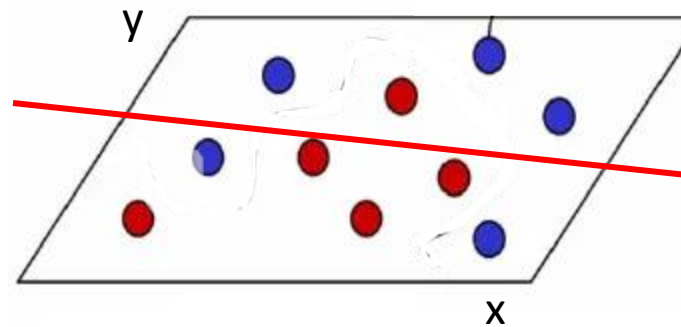
Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2$$



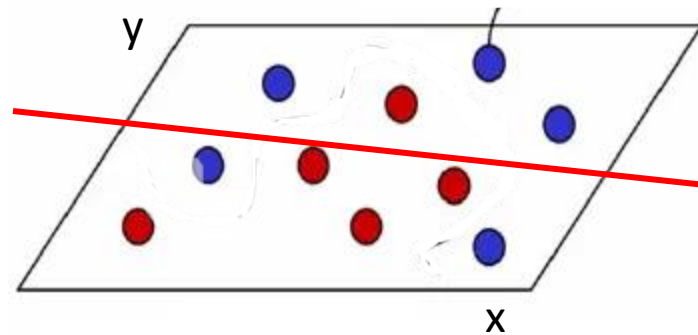
Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2 = a^2x^2 + b^2y^2 + 2abxy$$



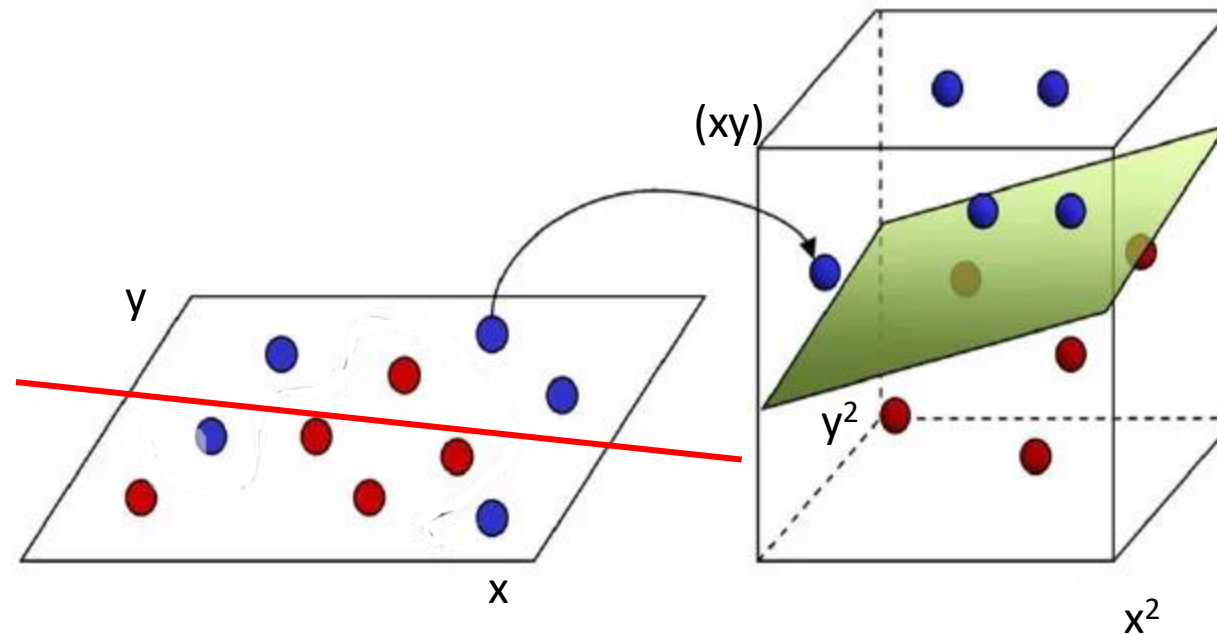
Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2 = a^2 \underbrace{x^2} + b^2 \underbrace{y^2} + 2ab \underbrace{xy}$$



Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2 = a^2 \underbrace{x^2} + b^2 \underbrace{y^2} + 2ab \underbrace{xy}$$



Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2 = a^2x^2 + b^2y^2 + 2abxy$$

Fase di addestramento della rete neurale = apprendimento (machine learning)

Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2 = a^2x^2 + b^2y^2 + 2abxy$$

Fase di addestramento della rete neurale = apprendimento (machine learning)

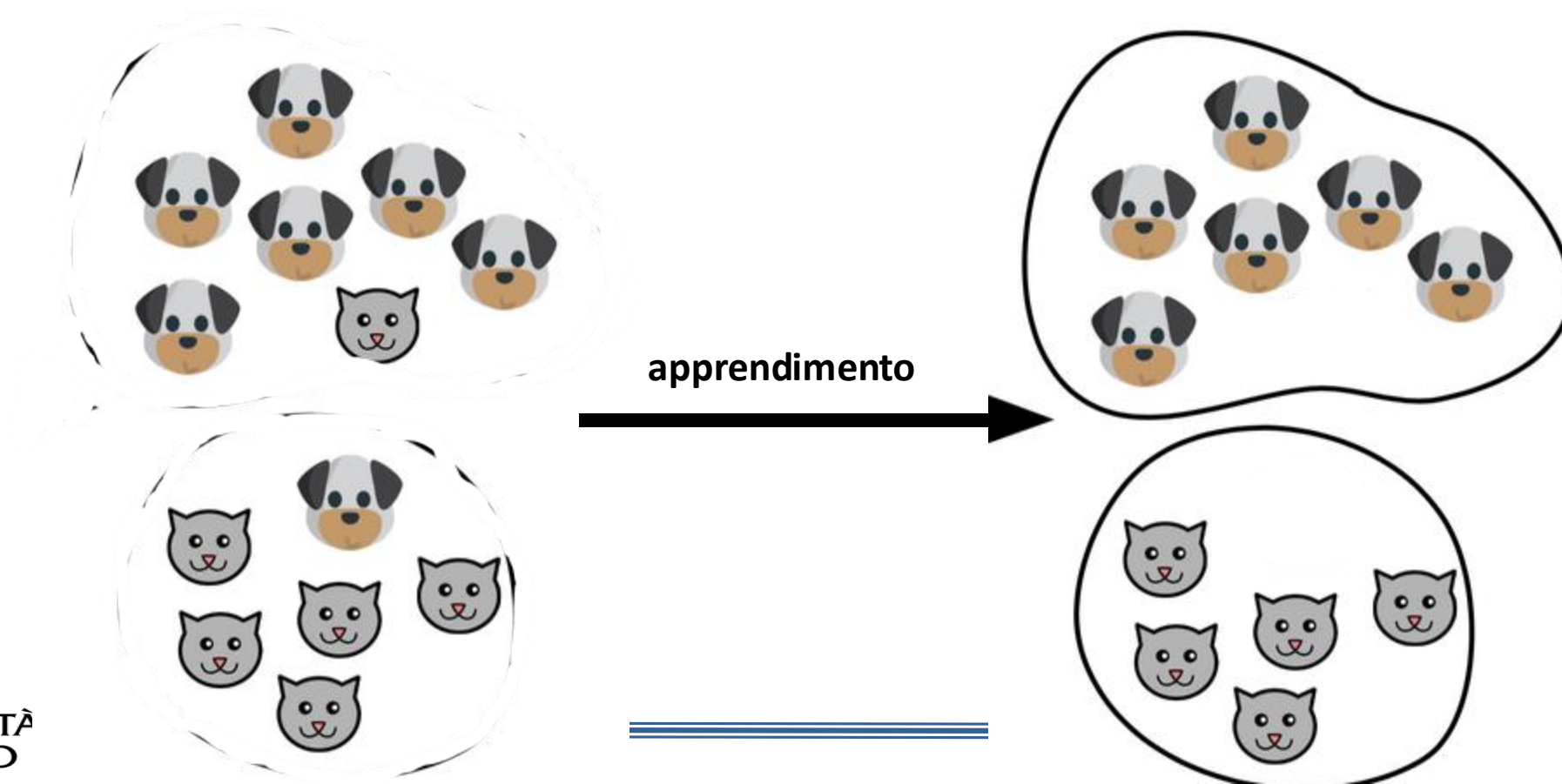
Dare esempi alla rete in modo da fissare i pesi (parametri a e b)

Neurone artificiale: il percettrone

$$out = (ax + by)^2 = a^2x^2 + b^2y^2 + 2abxy$$

Fase di addestramento della rete neurale = apprendimento (machine learning)

Dare esempi alla rete in modo che si fissino i pesi (parametri a e b)

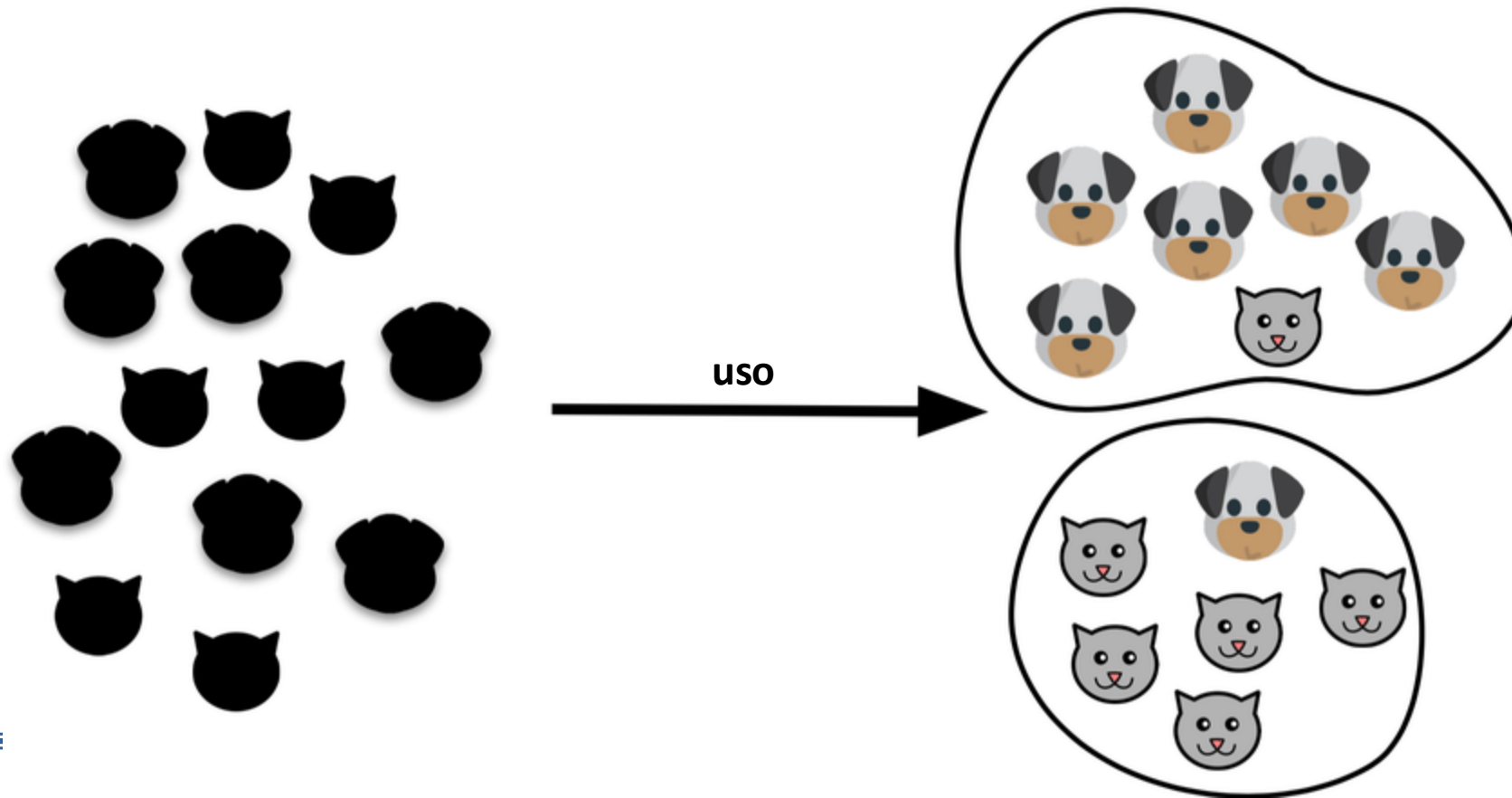


Neurone artificiale: il percettrone

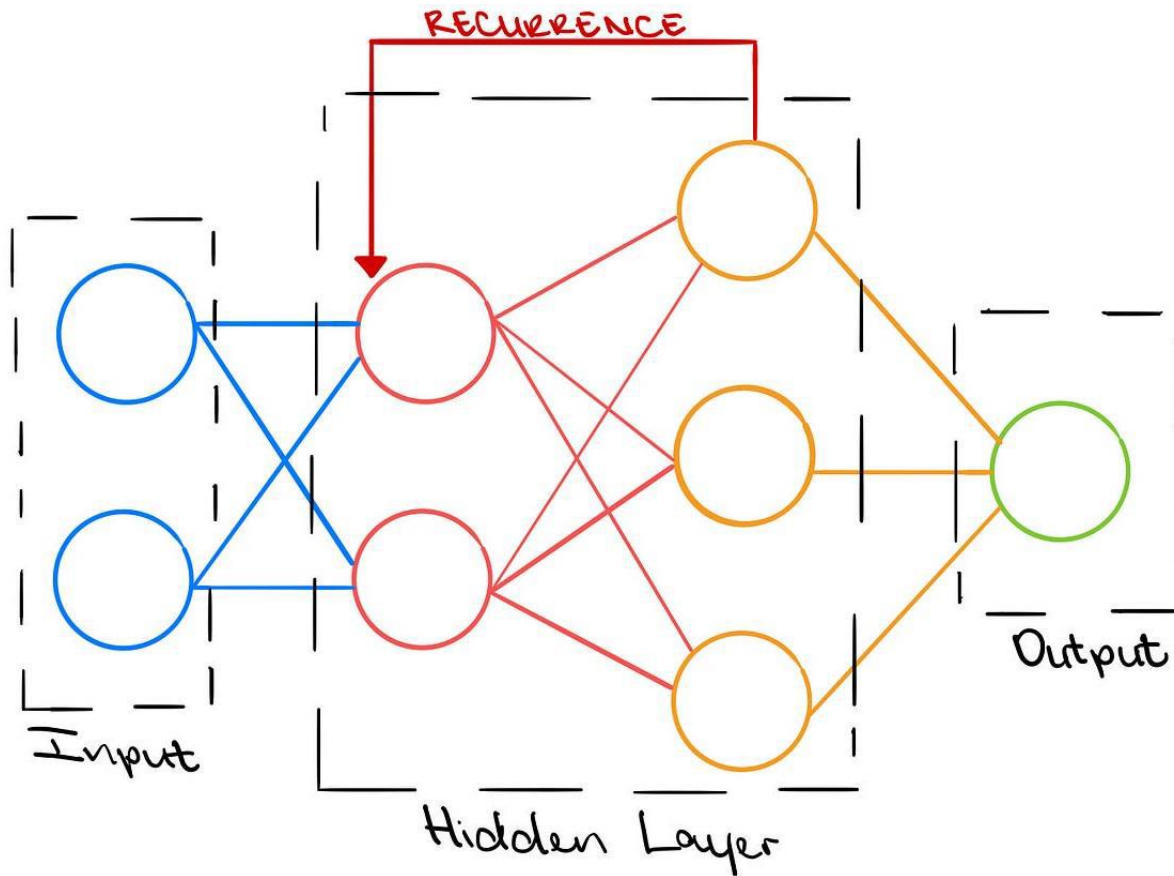
$$out = (ax + by)^2 = a^2x^2 + b^2y^2 + 2abxy$$

Fase di addestramento della rete neurale = apprendimento (machine learning)

Dare esempi alla rete in modo che si fissino i pesi (parametri a e b)



Modelli di Intelligenza Artificiale



Milioni di nodi integrati in reti con topologie complesse

I nodi sono detti neuroni

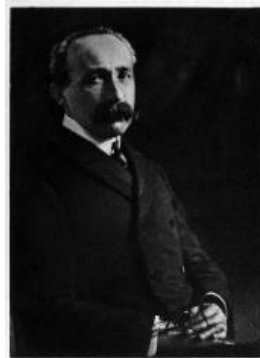
I collegamenti tra i nodi definiscono l'equivalente delle sinapsi che nel modello di perceptrone definiscono i pesi

Apprendimento = immagazzinare informazioni

- Apprendimento è associato alla memoria
- La memoria nei circuiti integrati è una posizione fisica che corrisponde ad una posizione ben definita
- La memoria è associata alla formazione di specifici circuiti tra i neuroni che persistono nel tempo

Apprendimento = immagazzinare informazioni

- Apprendimento è associato alla memoria
- La memoria è associata alla formazione di specifici circuiti tra i neuroni che persistono nel tempo



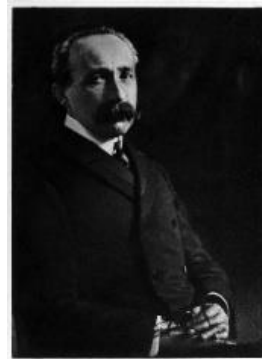
Richard Semon
1904



Donald O. Hebb 1949

Apprendimento = immagazzinare informazioni

- Apprendimento è associato alla memoria
- La memoria è associata alla formazione di specifici circuiti tra i neuroni che persistono nel tempo



Richard Semon
1904



Donald O. Hebb 1949

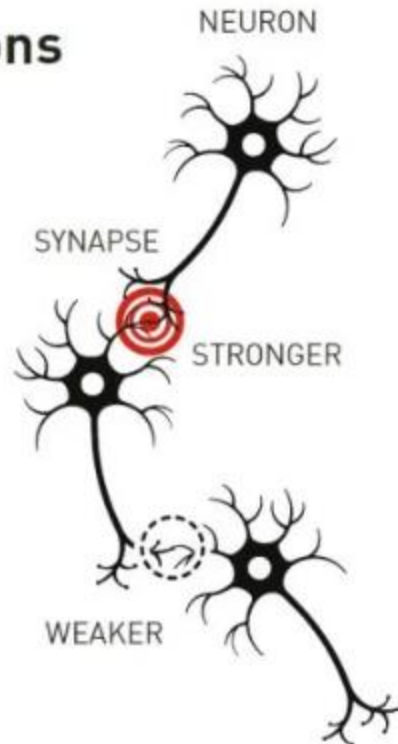
Memory resides in specific “cell assemblies” (engram) formed by the strengthening of neuronal connections (Long Term Potentiation-LTP) among neurons that were simultaneously excited.

Apprendimento = immagazzinare informazioni

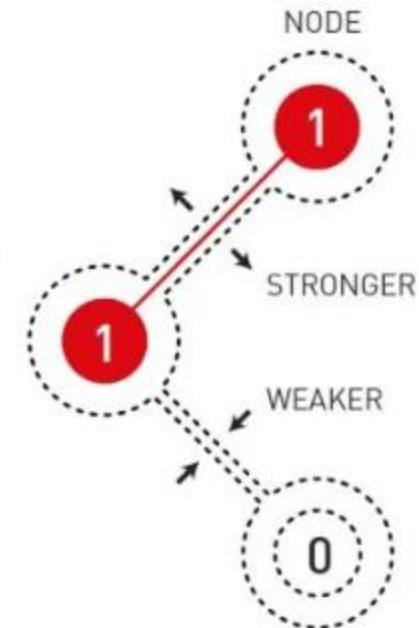
- Apprendimento è associato alla memoria

Natural and artificial neurons

The brain's neural network is built from living cells, neurons, with advanced internal machinery. They can send signals to each other through the synapses. When we learn things, the connections between some neurons get stronger, while others get weaker.



Artificial neural networks are built from nodes that are coded with a value. The nodes are connected to each other and, when the network is trained, the connections between nodes that are active at the same time get stronger, otherwise they get weaker.



Cervello rispetto all'Intelligenza Artificiale

1. Struttura e complessità

Composto da oltre 100 miliardi di neuroni interconnessi tramite trilioni di sinapsi, il cervello umano presenta una complessità biologica e funzionale che è ancora in gran parte sconosciuta. Le interazioni tra i neuroni avvengono attraverso segnali chimici ed elettrici, permettendo un'ampia varietà di funzioni cognitive.

1. Struttura e complessità

Utilizza reti neurali artificiali formate da nodi e connessioni matematiche. Sebbene i modelli come GPT-4 possano avere miliardi di parametri (fino a 1 trilione), la loro struttura è molto più semplice rispetto al cervello umano. Le reti neurali artificiali sono progettate per compiti specifici e non possiedono la flessibilità del cervello umano.

Cervello rispetto all'Intelligenza Artificiale

2. Apprendimento

Apprende in modo continuo dall'esperienza, adattandosi e modificando le proprie connessioni neuronali in risposta a nuove informazioni. Questa capacità di apprendimento è dinamica e consente agli esseri umani di sviluppare competenze nel tempo.

2. Apprendimento

È addestrato su grandi set di dati. Una volta completato l'addestramento, non continua ad apprendere autonomamente; può solo generare risposte basate su ciò che ha già appreso. Non ha la capacità di adattarsi o modificare il proprio comportamento senza un nuovo ciclo di addestramento.

Cervello rispetto all'Intelligenza Artificiale

3. Capacità di elaborazione

È in grado di gestire una vasta gamma di compiti simultaneamente, inclusi linguaggio, visione e pianificazione. Questa versatilità è supportata dalla sua architettura complessa e dalla capacità di integrare informazioni da diverse fonti.

3. Capacità di elaborazione

ChatGPT: Sebbene possa generare testo in modo coerente e rispondere a domande, è limitato a compiti specifici legati all'elaborazione del linguaggio naturale. Non può eseguire funzioni cognitive al di fuori della sua programmazione.

Cervello rispetto all'Intelligenza Artificiale

4. Robustezza e tolleranza ai guasti

È resiliente; può continuare a funzionare anche se alcune parti vengono danneggiate. Questa tolleranza ai guasti è una caratteristica fondamentale della biologia umana.

4. Robustezza e tolleranza ai guasti

È fragile; può fallire completamente se i suoi parametri vengono alterati o se incontra dati che non ha mai visto prima. La sua capacità di operare dipende strettamente dalla qualità dei dati su cui è stato addestrato.

Limiti di ChatGPT rispetto ad un cervello umano?

Limitata intelligenza emotiva

Il modello non è in grado di percepire o comprendere le emozioni umane. Sebbene possa generare risposte che sembrano empatiche, queste sono puramente basate su schemi linguistici e non su una reale comprensione emotiva. Non può modulare le sue risposte in base agli stati d'animo degli utenti.

Comprensione del contesto

ChatGPT ha difficoltà a comprendere le sfumature del linguaggio e il contesto delle conversazioni. Questo lo porta a fraintendere le intenzioni degli utenti e a fornire risposte non pertinenti o fuori tema.

Conoscenza limitata e obsoleta

La conoscenza di ChatGPT è limitata ai dati su cui è stato addestrato.

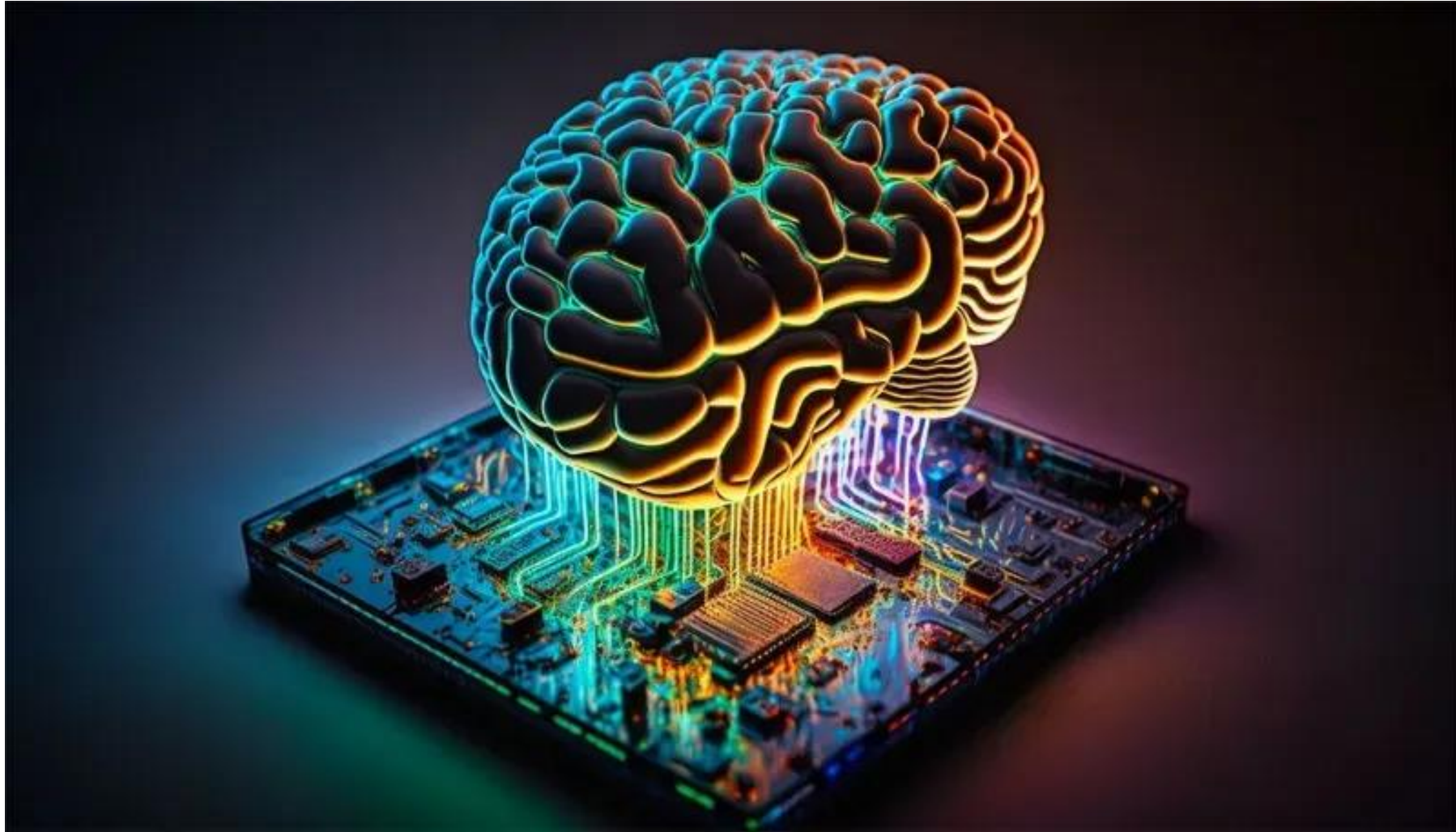
Incapacità di gestire più compiti contemporaneamente

Il modello fatica a gestire richieste multiple simultaneamente, risultando in risposte confuse quando gli vengono assegnati compiti diversi nello stesso momento. Questo è in contrasto con la capacità umana di passare agilmente tra diverse attività.

Problemi di AI oggi

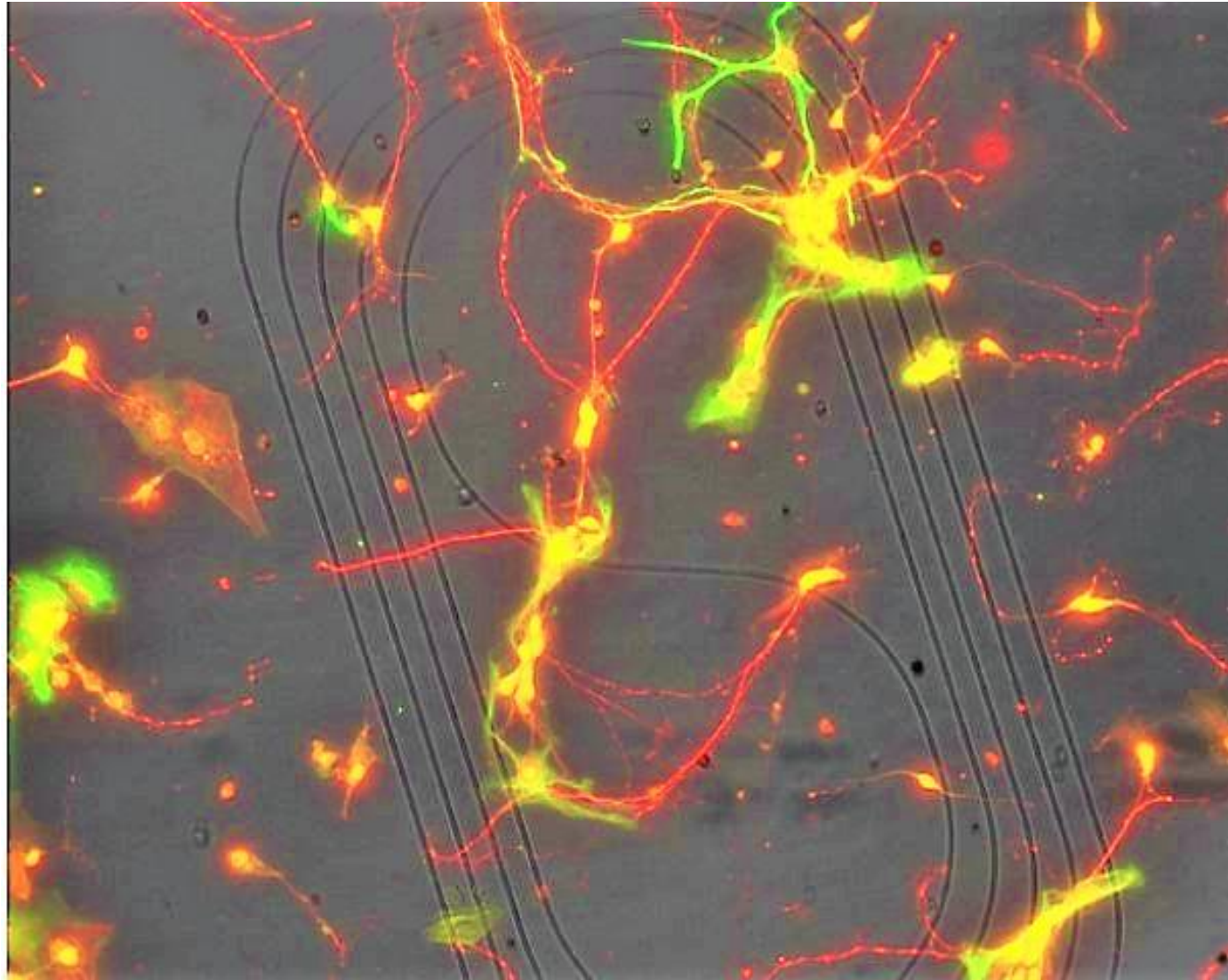
- Power consumption
- Allucination
- End of data (we're running out of high-quality training data to actually train the AIs on)
- AI finds only deep correlation (pattern) on data and not logical/causal connections
- **True agency:** Not just following instructions, but pursuing their own goals.
- **Real reasoning:** Moving beyond pattern matching to logical thinking.
- **Better learning:** Understanding concepts from limited data.
- **Self-awareness:** Having an internal model of themselves.
- **Unpredictability:** The more they reason, the harder they'll be to predict.

Brain Computer Interface



<https://www.thedigitalspeaker.com/neuromorphic-computing-hyper-realistic-generative-ai/>

Rete ibrida biologica e fotonica

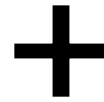
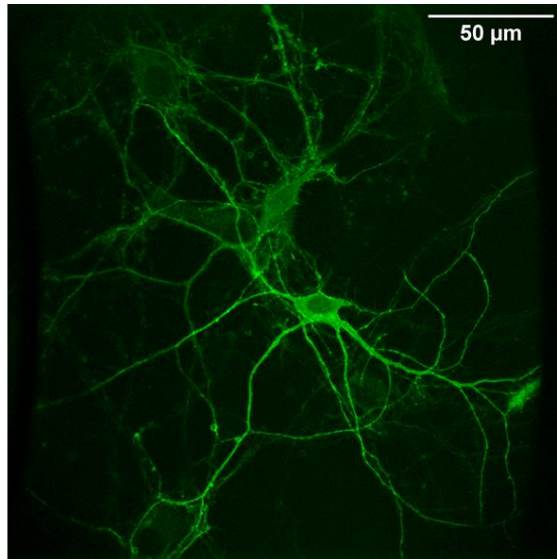


Motivazioni

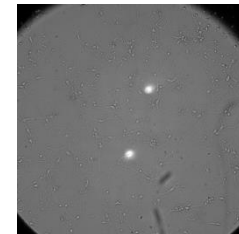
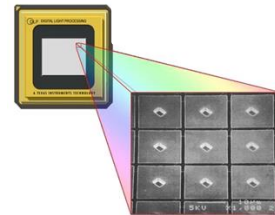
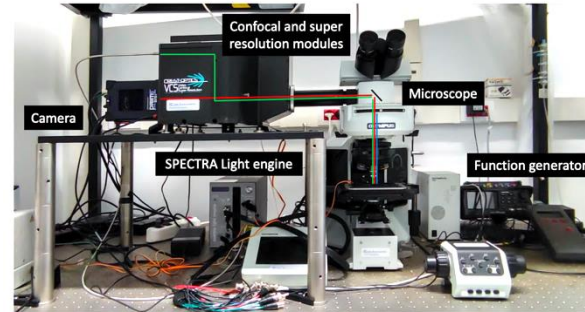
- Capire come ragiona un cervello umano a partire da una cultura di neuroni per migliorare l'AI
- Andare a realizzare circuiti ibridi che sfruttino la potenza computazionale dei circuiti elettronici e la plasticità dei circuiti neuronali
- Andare ad sostituire o complementare circuiti cerebrali danneggiati o con deficit neurali o con patologie neurologiche

The experimental platform

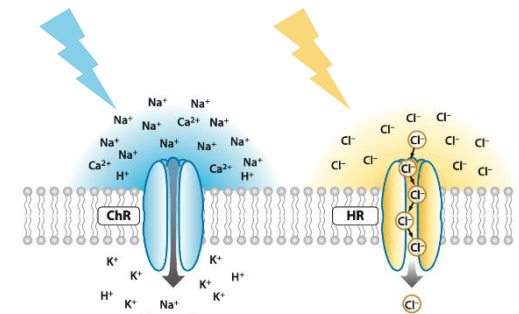
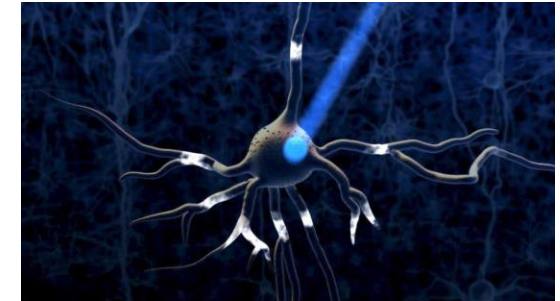
Neurons



Microscopy setup + DLP
(Digital Light Processor device)

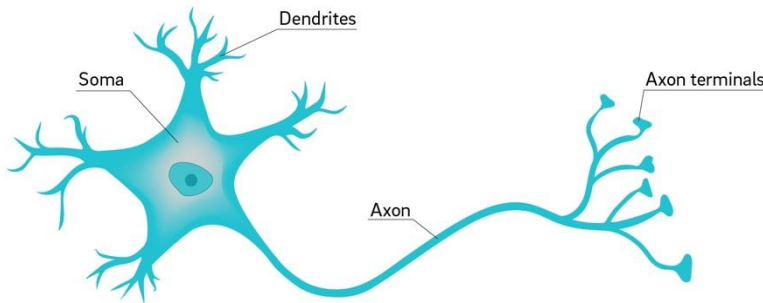


Optogenetics



Perform simultaneous
excitation on single neurons in
an in-vitro neuronal network

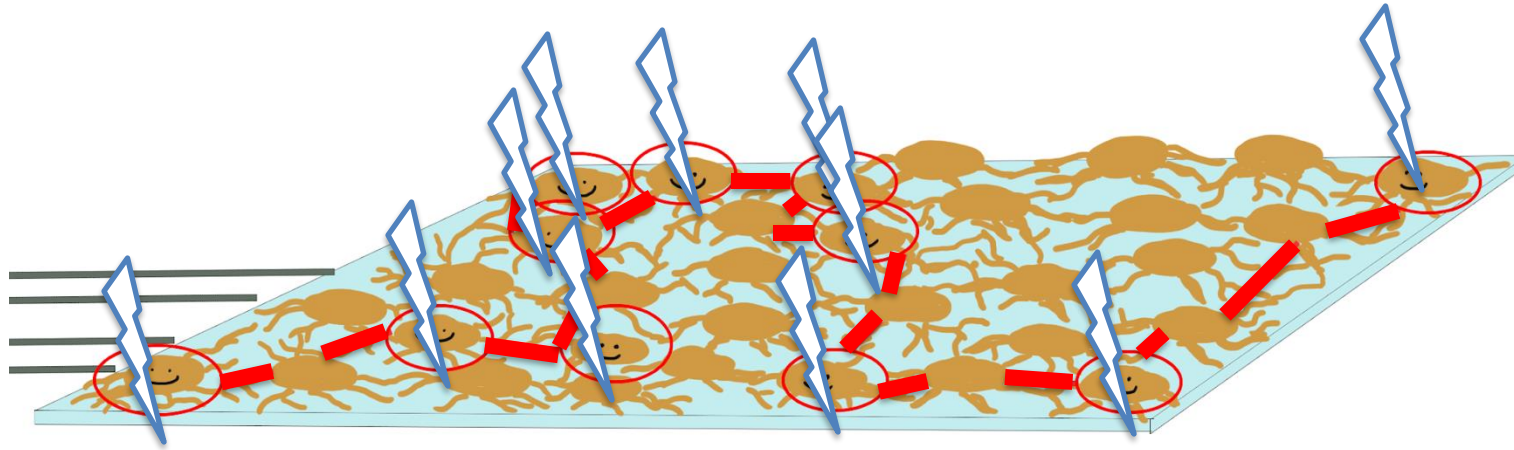
Induce neuronal excitation



Luce per influenzare i neuroni

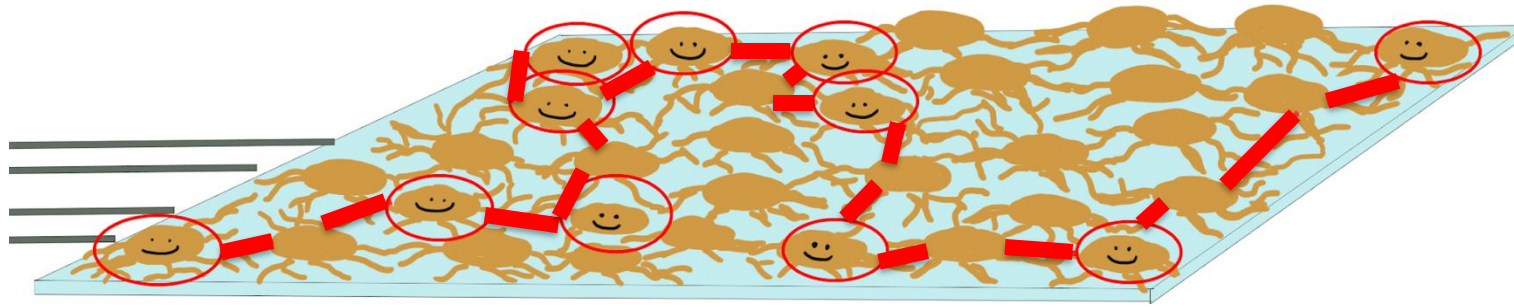


Scriviamo una memoria con la luce



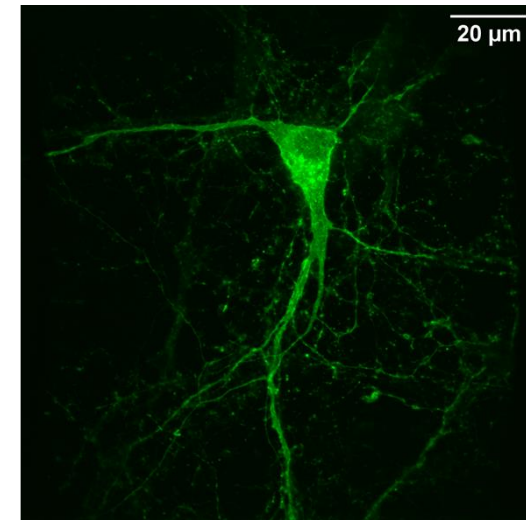
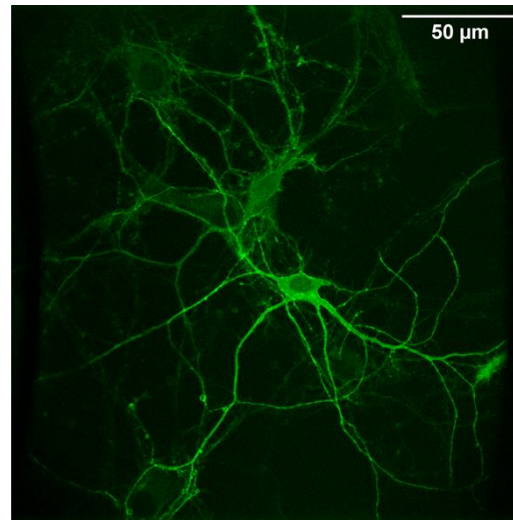
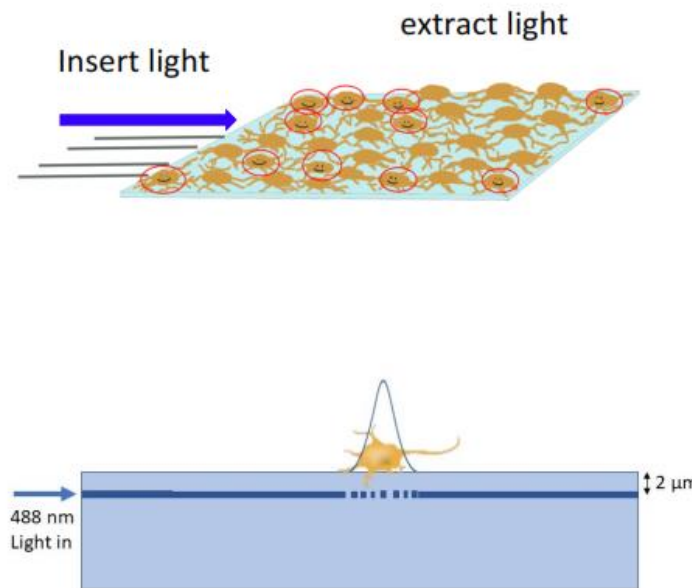
Clara Zaccaria, et al Proc. SPIE 11947, 1194703 (2022)

Scriviamo una memoria con la luce



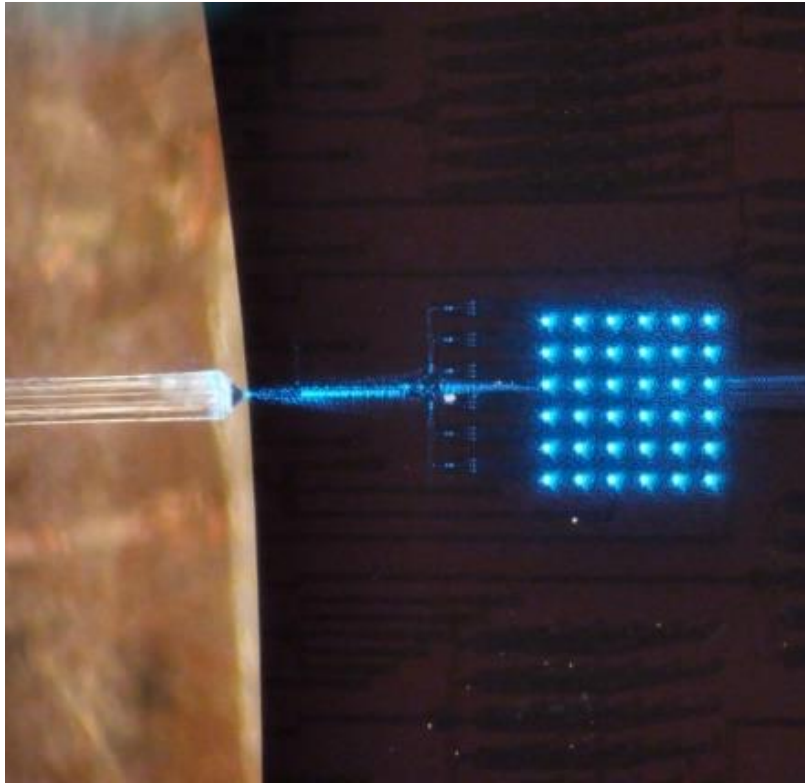
Clara Zaccaria, et al Proc. SPIE 11947, 1194703 (2022)

Design of the photonic chip

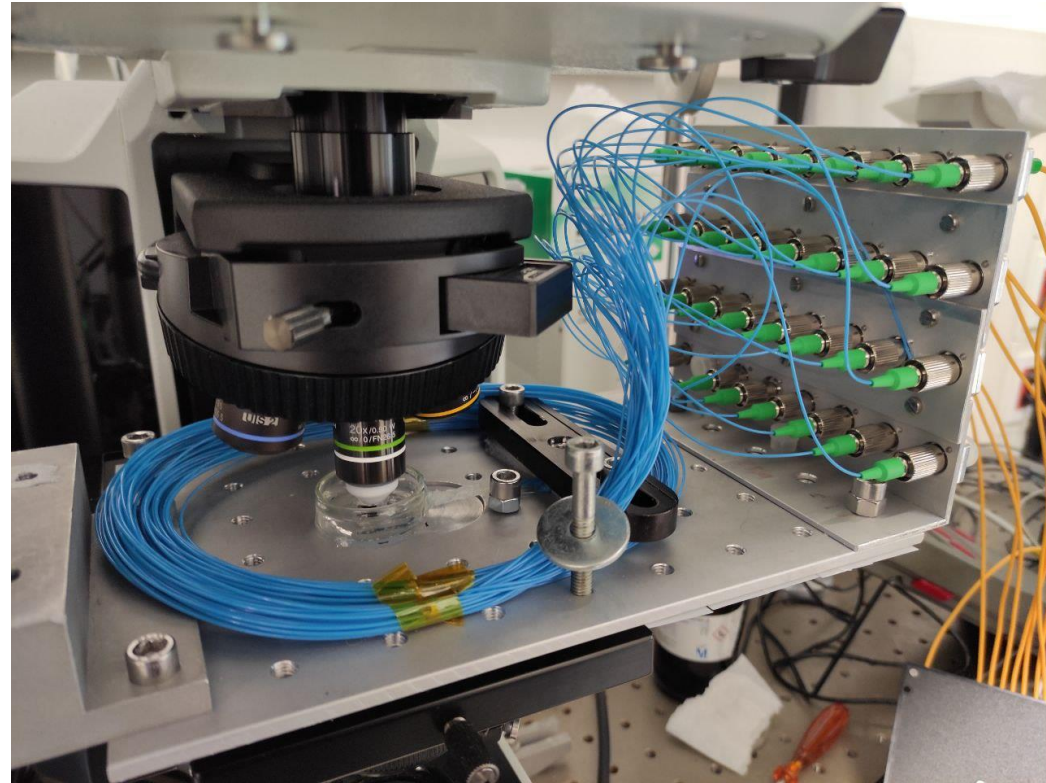
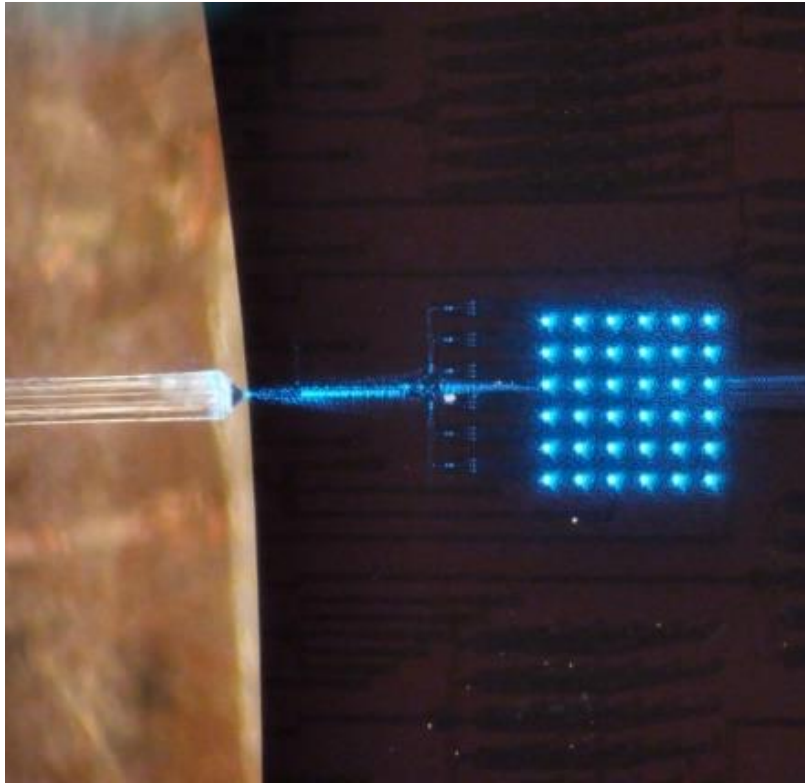


C. Zaccaria, et al Journal of Lightwave Technology, 39, 3521-3530 (2021)

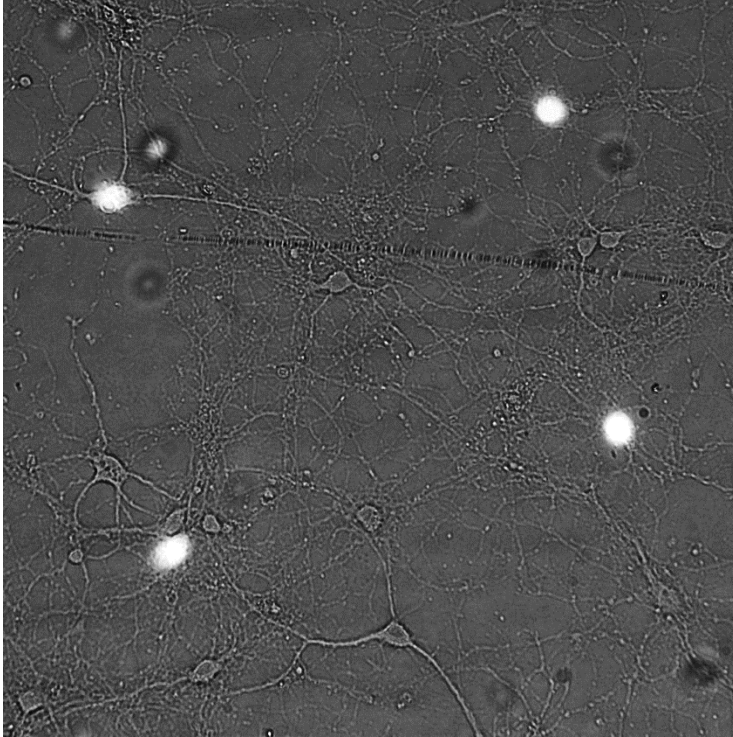
Scriviamo una memoria con la luce



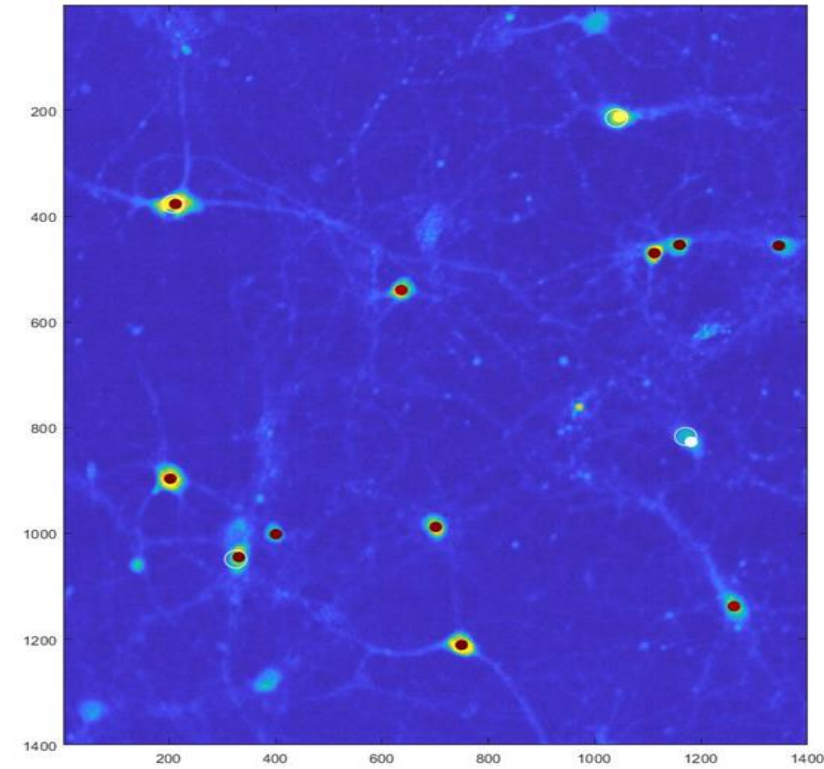
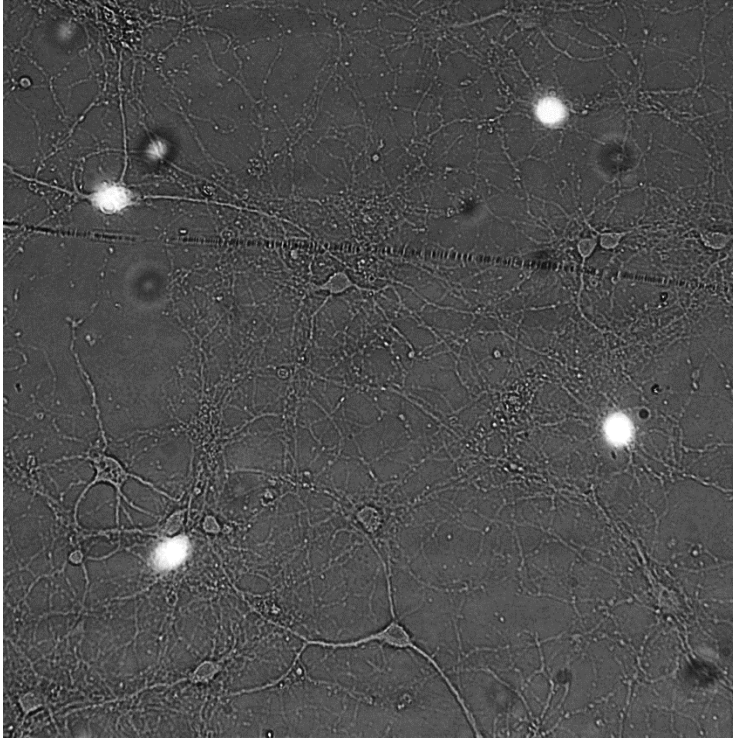
Scriviamo una memoria con la luce



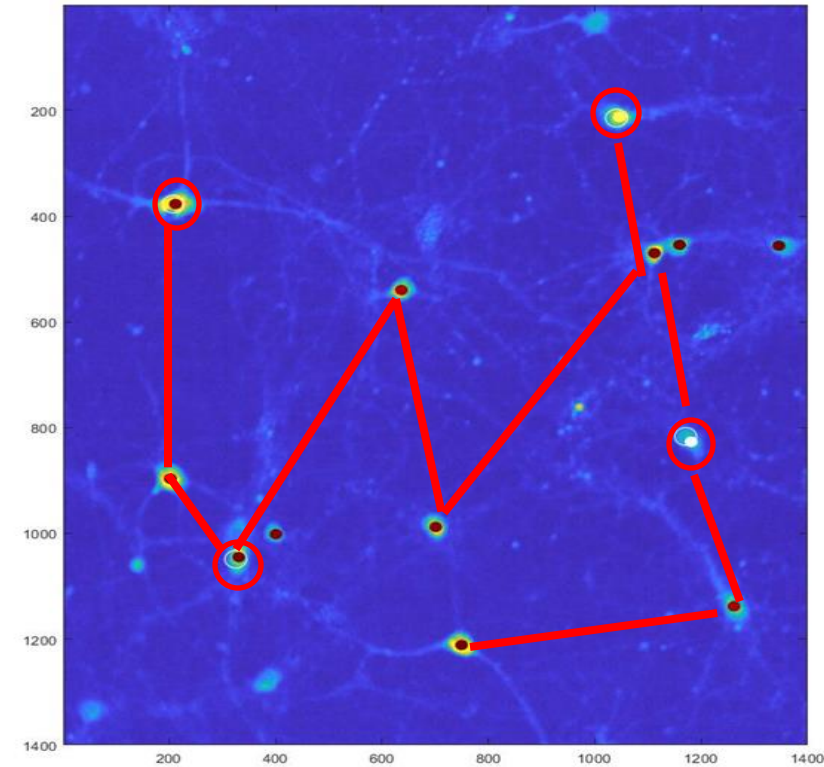
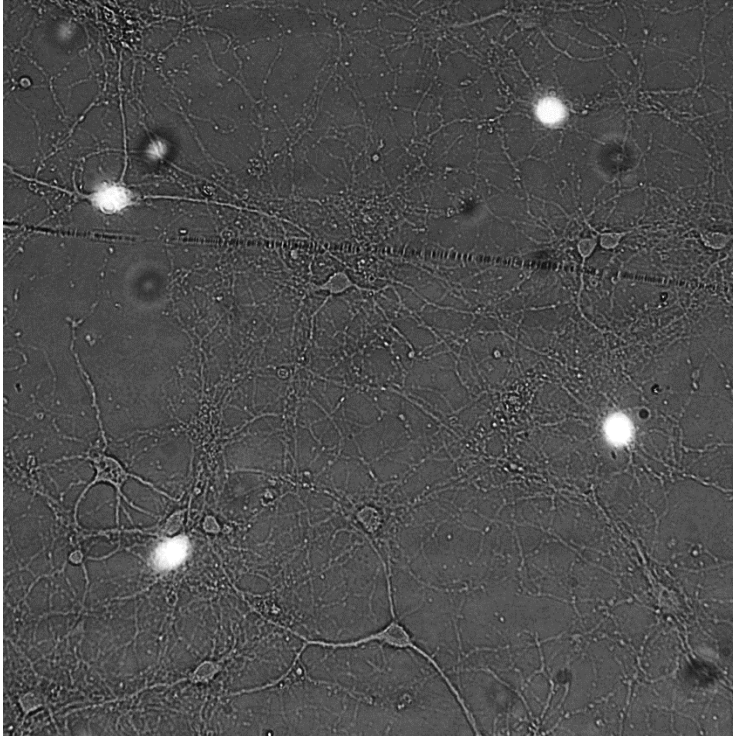
Scriviamo una memoria con la luce



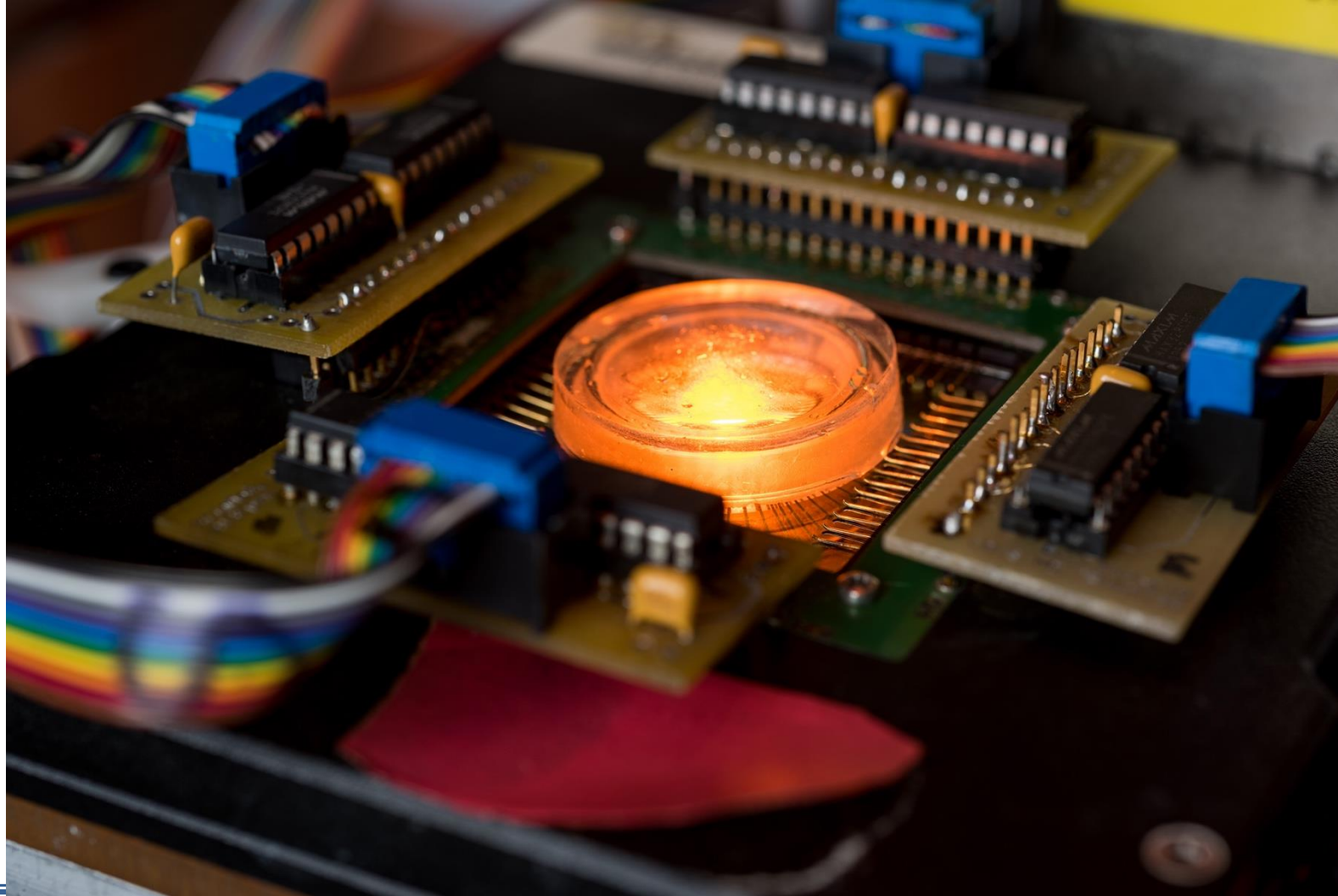
Scriviamo una memoria (circuito neuronale) con la luce



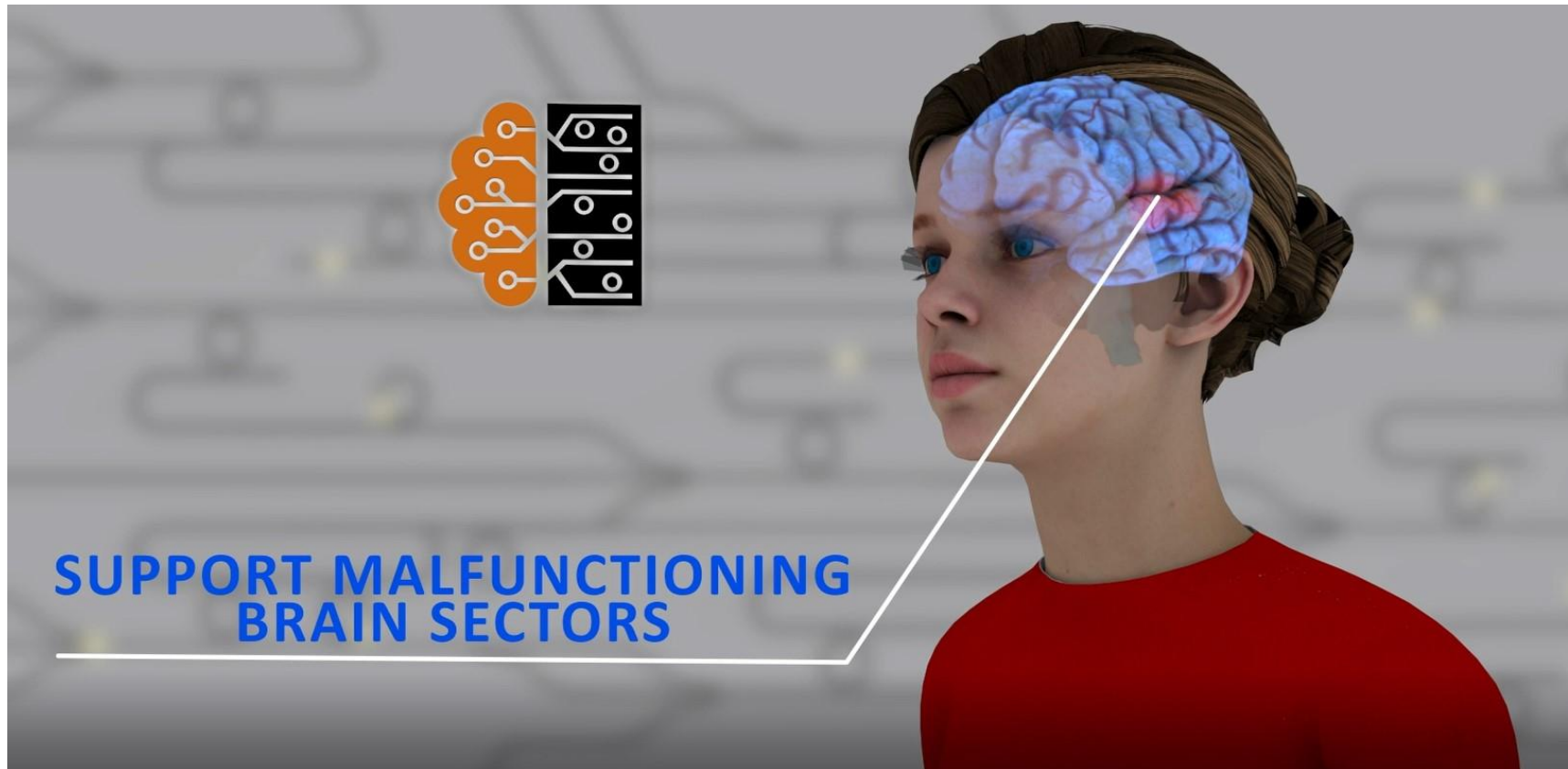
Scriviamo una memoria (circuito neuronale) con la luce



Optogenetica + rete neurale fotonica = cervello ibrido artificiale

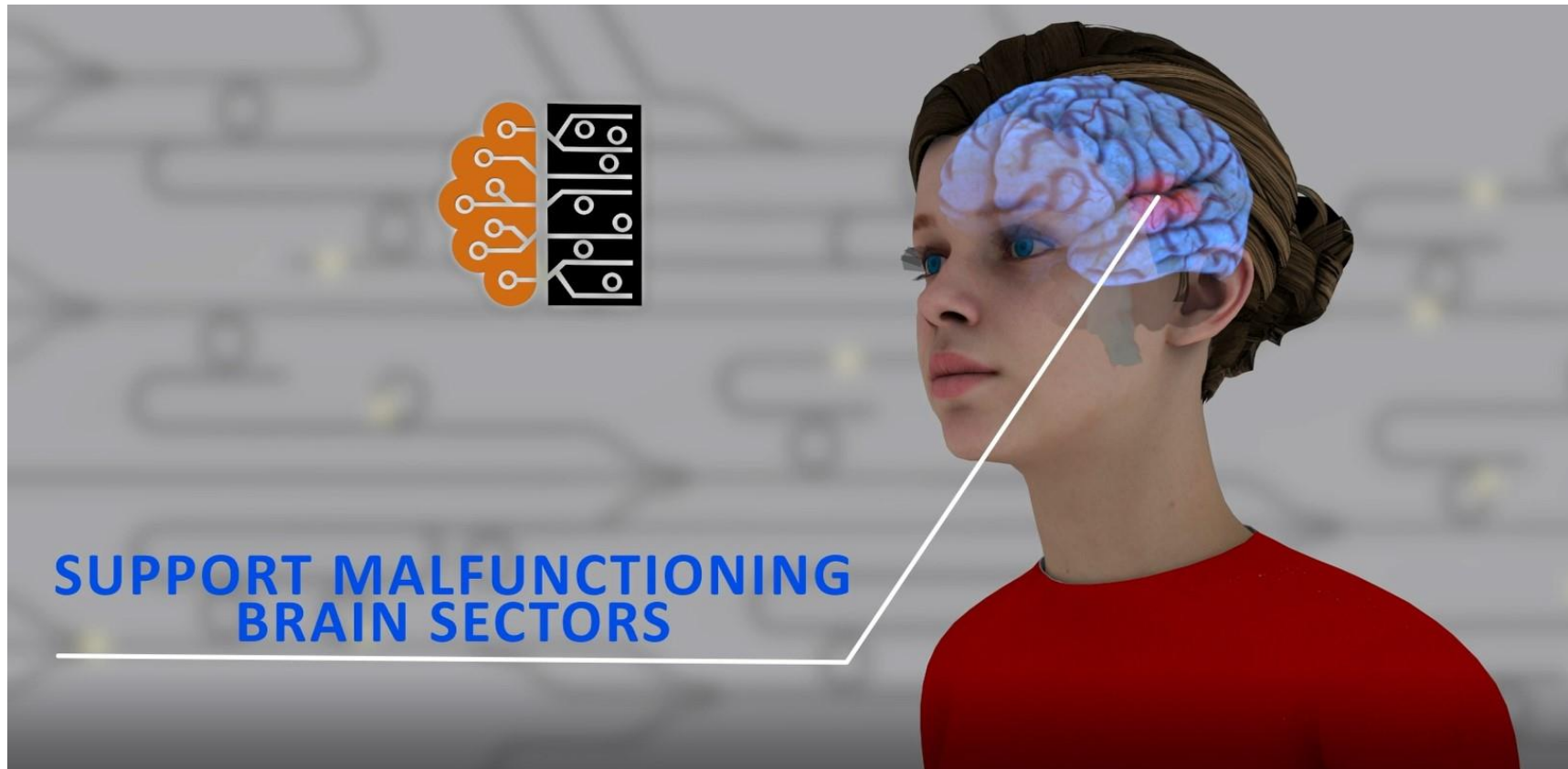


Questi dati aprono la strada alla nostra visione,



<https://r1.unitn.it/back-up/>

Questi dati aprono la strada alla nostra visione, ma la strada da percorrere per passare dagli esperimenti in vitro a quelli in vivo e, infine, all'uomo è ancora lunga.



<https://r1.unitn.it/back-up/>

O no?

sky

Esplora Sky Tg24, Sky Sport, Sky Video

PERSONALIZZA

LOGIN

sky tg24

ALLUVIONE EMILIA ROMAGNA

SALONE DEL LIBRO

UCRAINA

I PODCAST

SPETTACOLO

TECNOLOGIA

News

Approfondimenti

Software

Telecomunicazioni

Internet

Now

Drive Club

Videogiochi

TECNOLOGIA

Neuralink, la start up di Elon Musk autorizzata a testare impianti cerebrali sugli umani

26 mag 2023 - 09:01

©Getty



Testare impianti cerebrali nelle persone.
Sta' succedendo per davvero, era

L

a Food and Drug Administration ha dato il via libera alla società del miliardario per iniziare a sperimentare i suoi prodotti sull'uomo: i test sugli animali hanno mostrato come basti lo sguardo per permettere di digitare

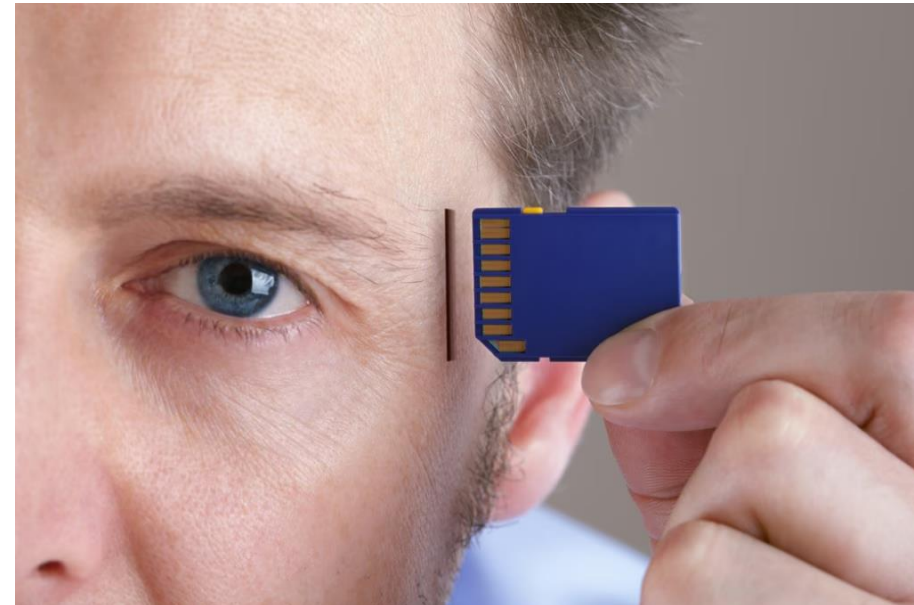
sky tg24

DIRETTA TV

LIVE

Alcuni aspetti aperti

- Sono accettabili le protesi cerebrali?



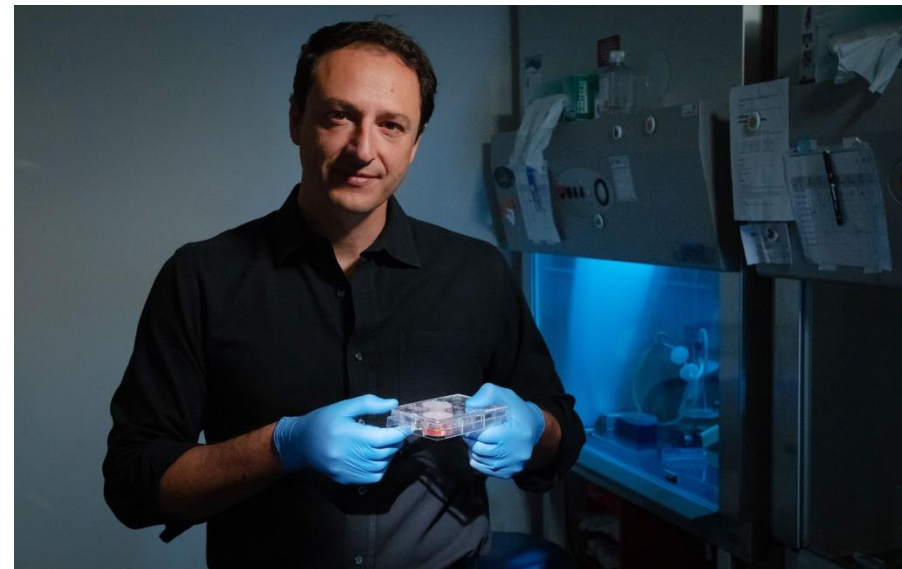
Alcuni aspetti aperti

- Se riusciamo a fare un cervello ibrido questo ha la stessa dignità di un essere vivente?



Alcuni aspetti aperti

- Come possiamo definire un essere vivente?



<https://www.quantamagazine.org/an-ethical-future-for-brain-organoids-takes-shape-20200123/>

Acknowledgments



And together with

- PRIN 2017 Photonic Extreme Learning Machine: from neuromorphic computing to universal optical interpolant, strain gauge sensor and cancer morphodynamic monitor
- PRIN 2022 Time REsolved multiparametric Sensing with optiAl Unstable REServoir
- PRIN 2022 Astrocytes gain molecular control over visual cortex plasticity and function
- PRIN 2022PNRR Targeting mitochondria to modulate neuron-astrocyte crosstalk and halt Alzheimer's Disease

