

A.D. 1308 —
unipg
—

DIPARTIMENTO
DI FISICA E GEOLOGIA



www.unipg.it

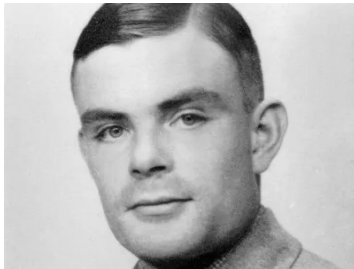
Intelligenza Artificiale ed Imaging

Maurizio Mattarelli, Igor Neri

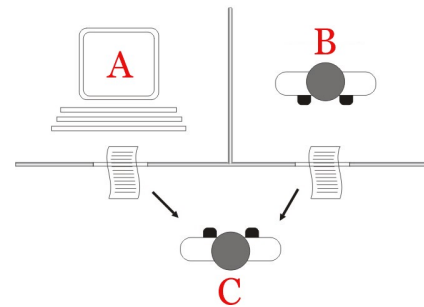


Di cosa parliamo quando parliamo di Intelligenza Artificiale ?

Blade Runner:
il test di Voight-Kampff



The «imitation game»



E se fosse migliore?



Turing, Alan (October 1950), "Computing Machinery and Intelligence", Mind, LIX (236): 433–460.

Di cosa parliamo quando parliamo di Intelligenza Artificiale ?

Caratteristiche «intelligenti» secondo le norme ISO :
ragionamento, l'apprendimento, la pianificazione e la creatività

Prevalentemente si fa riferimento ad una famiglia di applicazioni che vanno sotto il nome di **Machine Learning** (ML) ed hanno avuto in anni recenti un grande successo nel settore della classificazione di immagini, suoni, parlato, ... fino alla elaborazione di testi scritti con un'applicazione chiamata **Large Language Models** (LLM).



ChatGPT

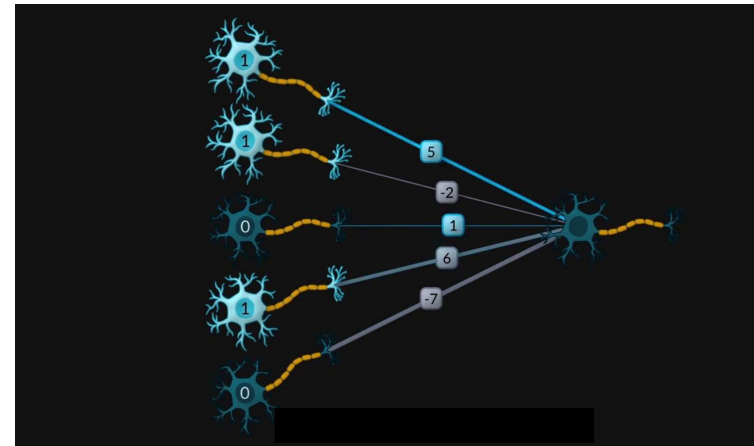
«Come modello di linguaggio, la mia architettura si basa principalmente sul machine learning, in particolare sul deep learning, che è una sottocategoria del machine learning. Il mio addestramento è stato incentrato sull'assorbimento di enormi quantità di testo da varie fonti per imparare a generare testo in modo coerente e contestualmente rilevante ...»

Machine learning

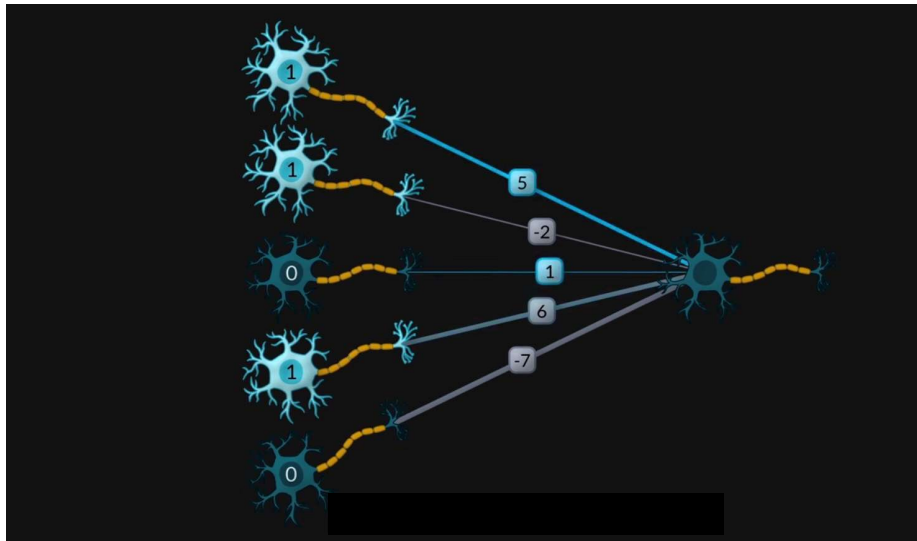
Un insieme di tecniche volte a mettere a punto algoritmi per classificare “oggetti”.

L'idea di base origina da un'interpretazione del funzionamento dei neuroni cerebrali chiamata Artificial Neural Network / Rete Neurale Artificiale (ANN).

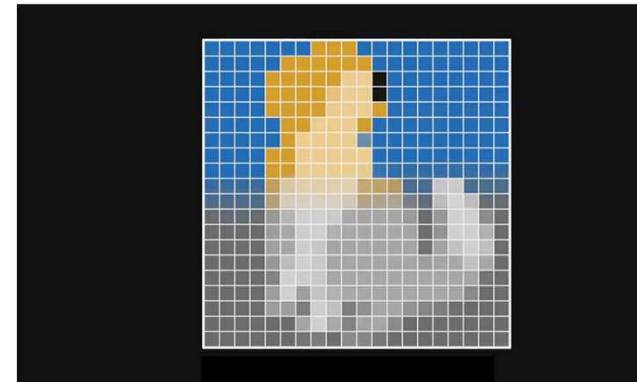
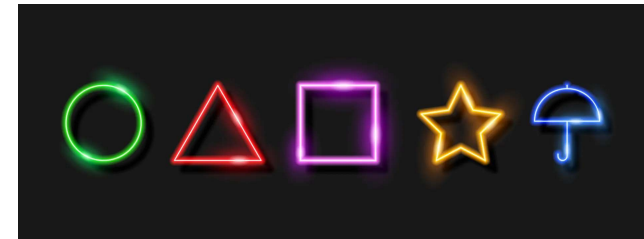
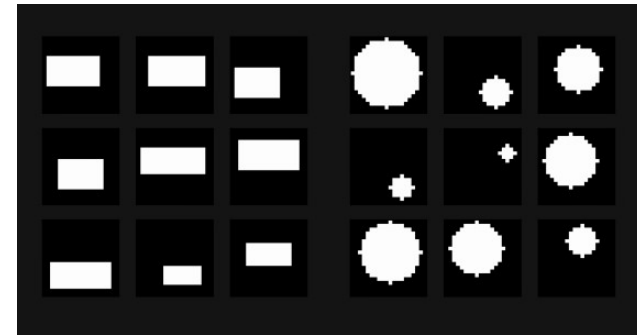
L'antenato delle modern ANN è il “Perceptron” inventato nel 1943 da due “computational neurobiologist” Warren McCulloch and Walter Pitts a Chicago e realizzato in pratica nel 1958 al Cornell Aeronautical Laboratory da Frank Rosenblatt.



Riconoscere le forme

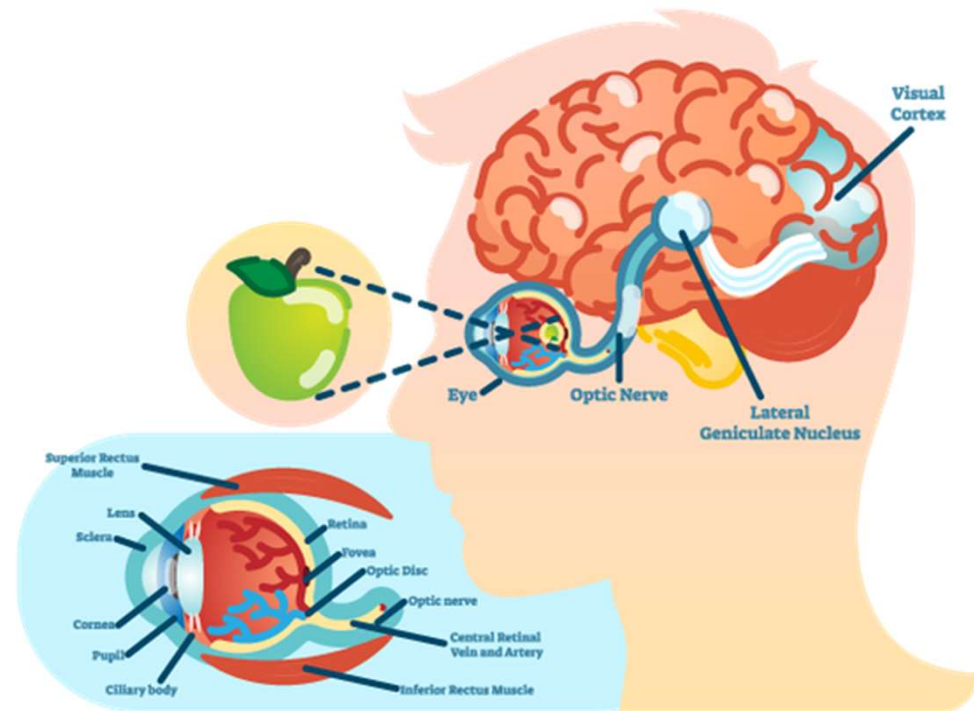


See: <https://www.youtube.com/watch?v=GVsUOuSjvcg>



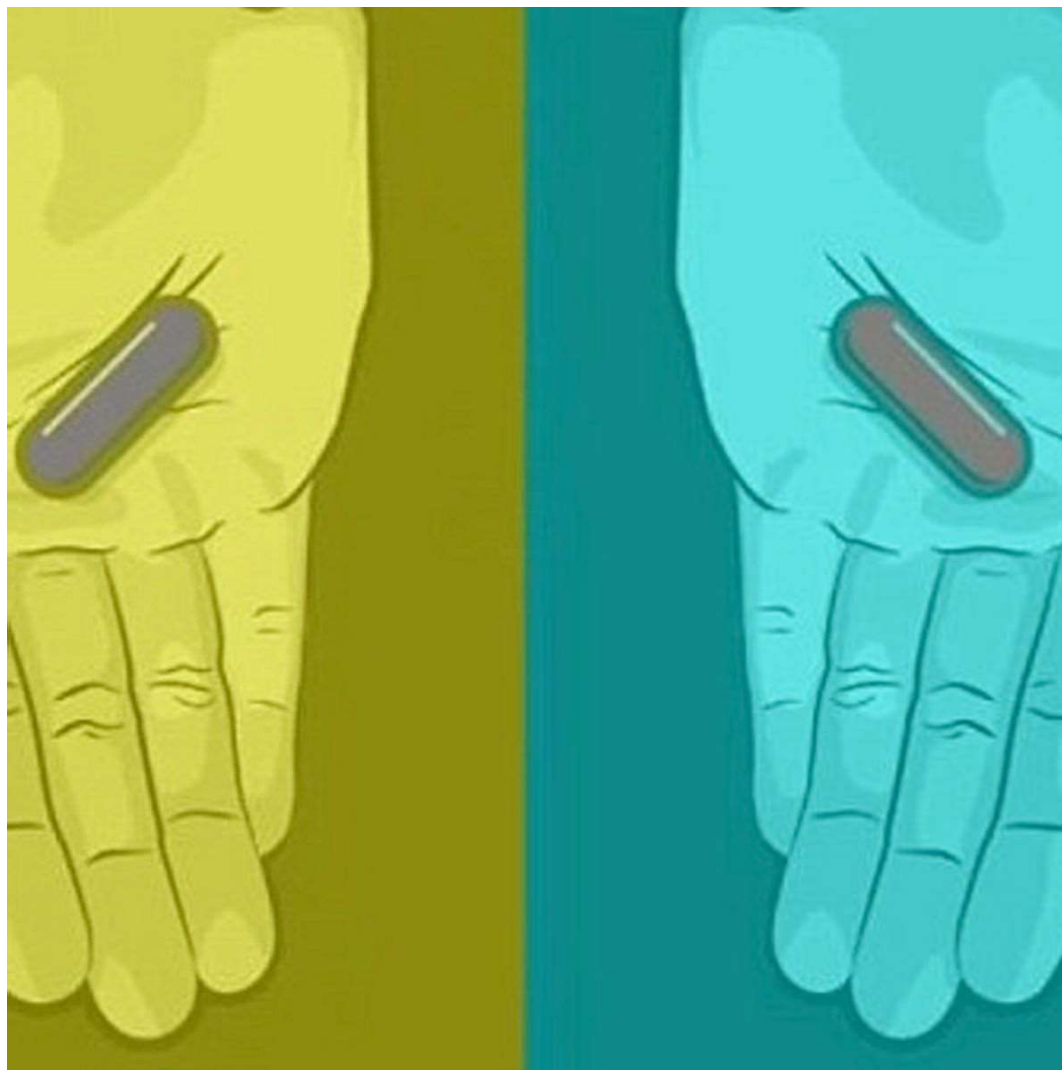
Cosa vuol dire «vedere»?

- Stimolo fisico
- Capacità di interpretarlo

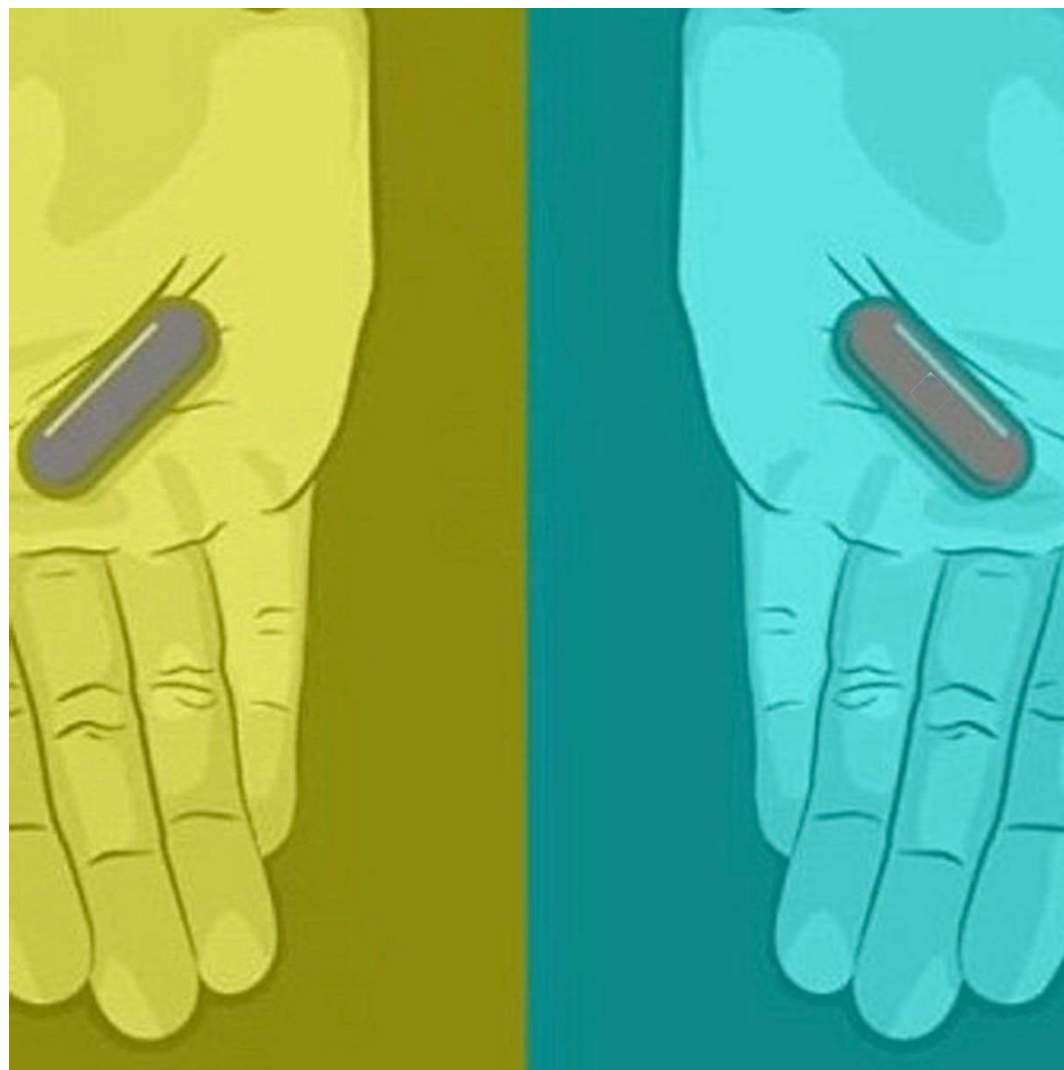


<https://www.wefixeyes.co.nz/wp-content/uploads/2020/06/iStock-922038408-How-the-eye-works-small-1-1024x748.jpg>

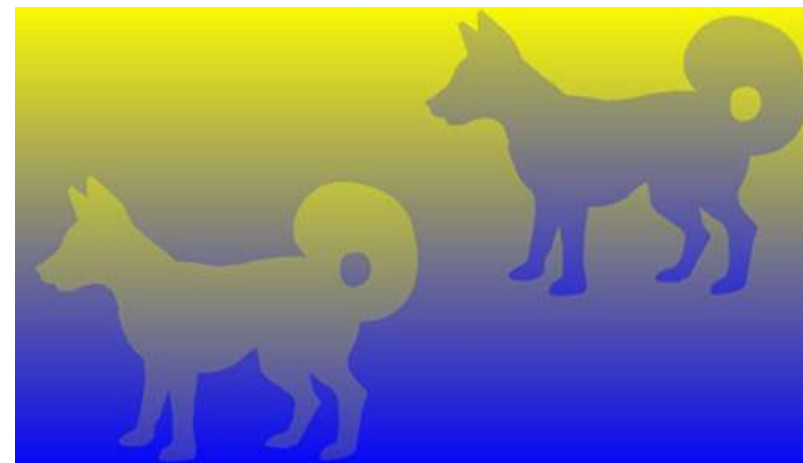
Una scelta
alla «Matrix»

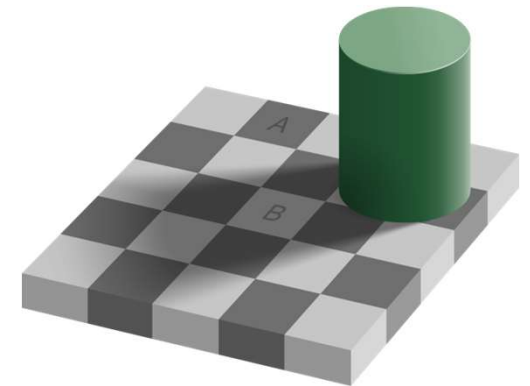
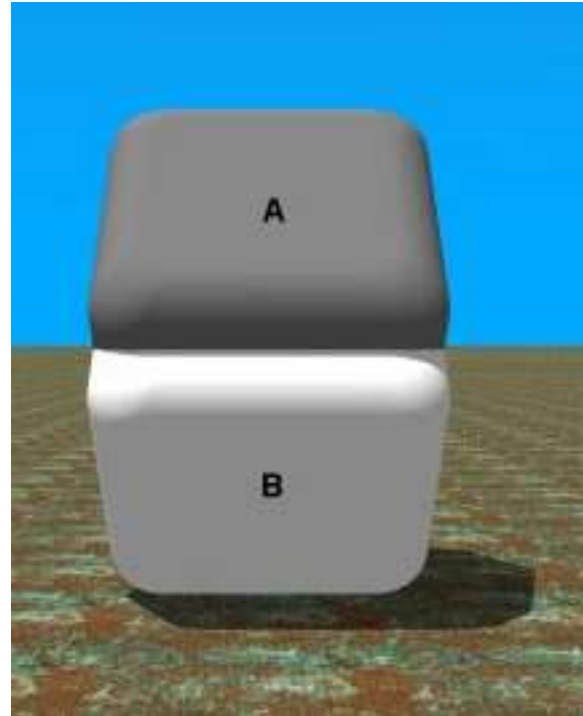


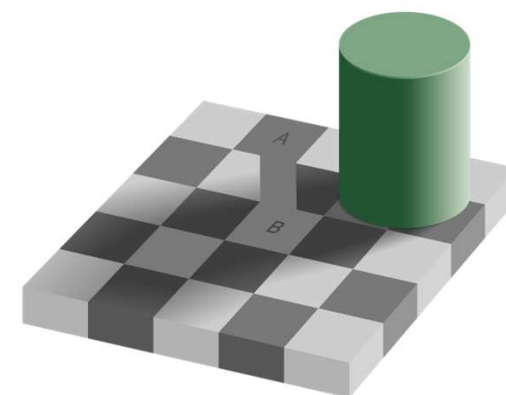
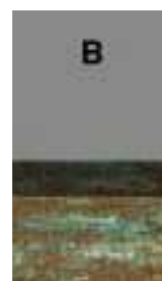
Una scelta
alla «Matrix»



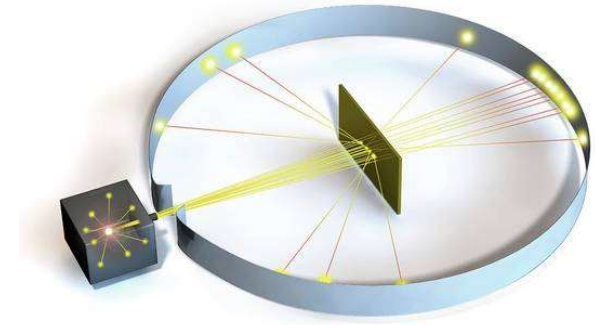
«Illusioni» ottiche



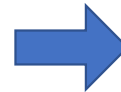




Gli esperimenti di scattering



La Visione per un fisico è un esperimento di scattering



- Una sonda (la luce)
- Il campione (l'oggetto che osserviamo)
- Il sistema di acquisizione (l'occhio)

La luce come sonda

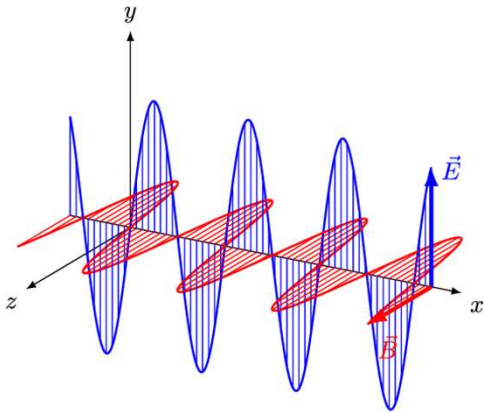
Equazioni di Maxwell

$$\oint_{\Omega} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

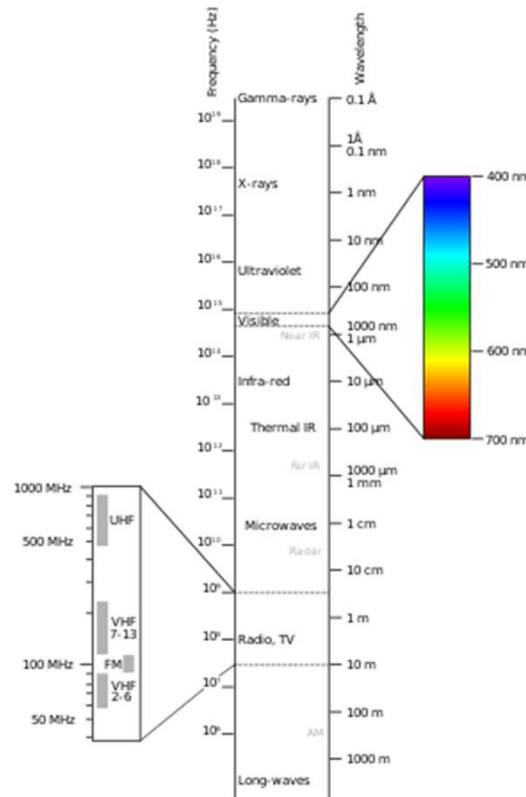
$$\oint_{\Omega} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\Phi_B$$

$$\oint_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(\Phi_J + \epsilon_0 \frac{d}{dt}\Phi_E \right)$$



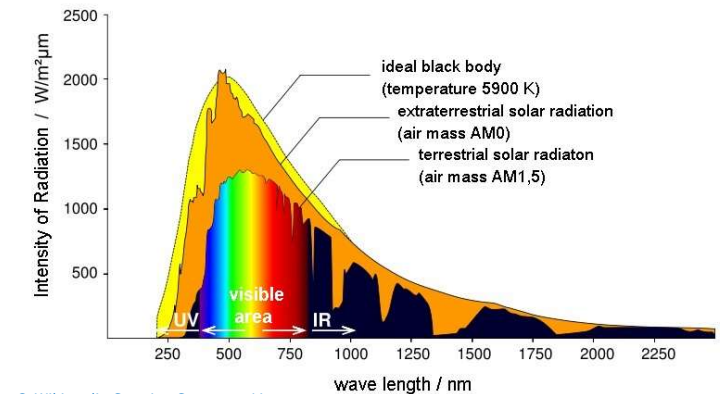
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif#/media/File:EM-Wave.gif>



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic-Spectrum.svg#/media/File:Electromagnetic-Spectrum.svg>

La luce è il piccolo intervallo dello spettro elettromagnetico che è visibile dall'occhio umano.

L'estensione tipica di questo intervallo va da 400 a 700 nm di lunghezza d'onda.



© Wikimedia Creative Commons Licence

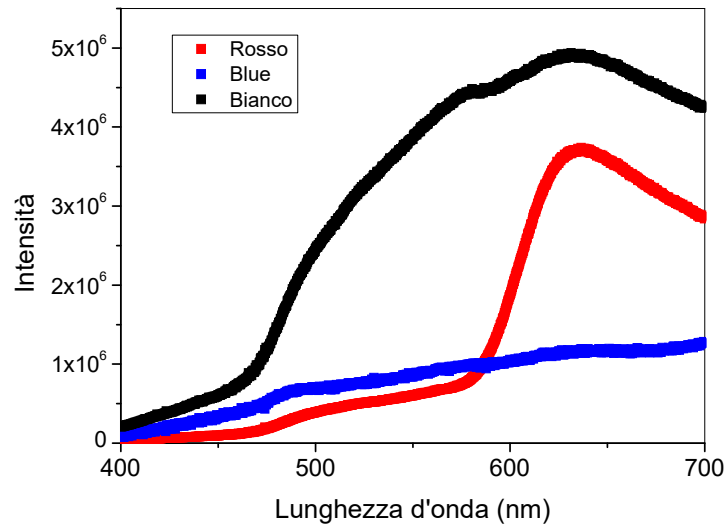
Il colore degli oggetti



Un oggetto viene percepito come colorato se dopo l'interazione con una luce incidente, viene diffusa una luce “non bianca”, cioè costituita solo da una porzione dello spettro elettromagnetico nel visibile.

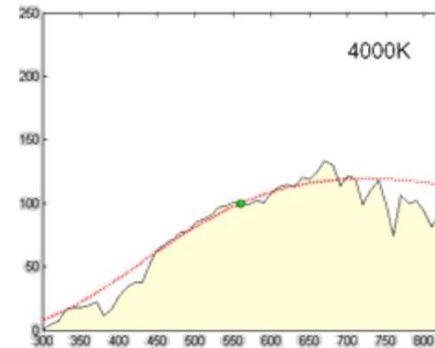
Al contrario, l'oggetto viene percepito come nero, grigio o bianco se assorbe completamente, parzialmente o per niente la radiazione incidente nel visibile.

Spettro di riflettanza

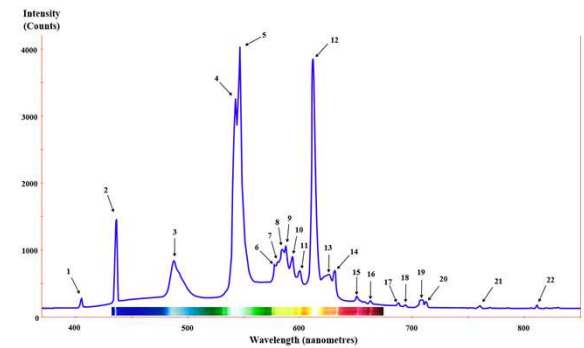


Lo spettro di riflettanza indica l'intensità della luce diffusa ad ogni lunghezza d'onda.

Dipende anche dall'illuminazione

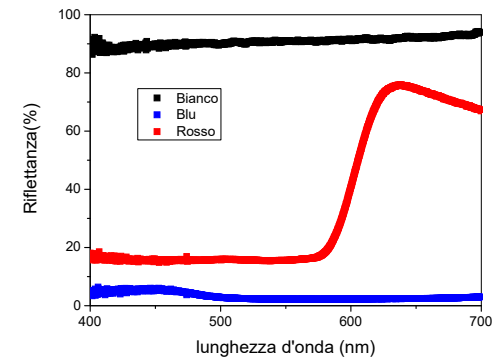


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CIE_illuminants_D_and_blackbody_small.gif#/media/File:CIE_illuminants_D_and_blackbody_small.gif

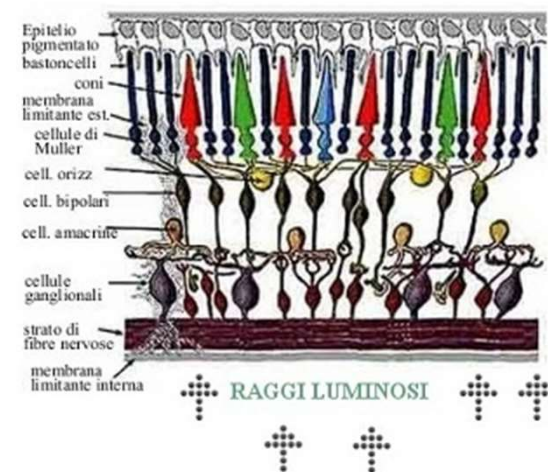
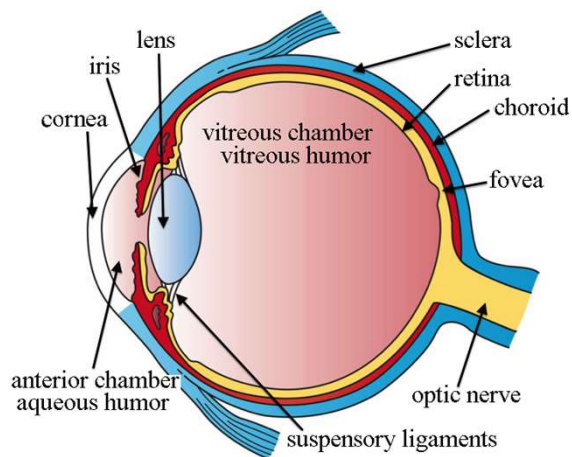


https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluorescent_lighting_spectrum_peaks_labeled_with_colored_peaks_added.png

Per recuperare l'informazione sul colore è necessario normalizzare tutte le misure al bianco

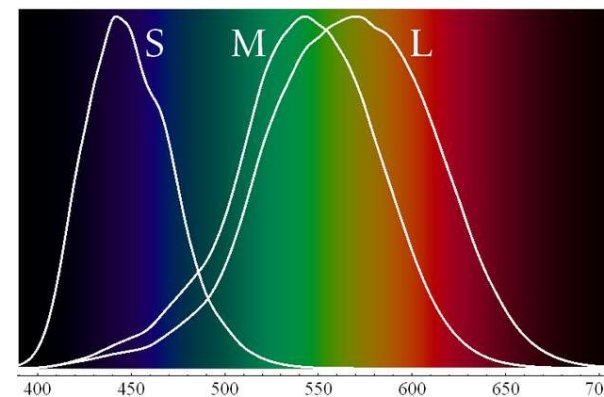


L'occhio umano



La retina si comporta come il detector di una macchina fotografica adatta a ricevere impressioni sia in bianco - nero che a colori tramite cellule sensibili alla luce ("bastoncelli" e "coni").

Gli impulsi luminosi ricevuti dai coni e dai bastoncelli vengono poi trasmessi al cervello tramite il nervo ottico.



Colore

Lo **stimolo del colore** è una radiazione luminosa con distribuzione spettrale di potenza definita nel range del visibile che viene rivelata tramite gli occhi. Questo può essere dovuto sia a luce creata dall'oggetto luminoso sia a luce diffusa dall'oggetto.

Il colore vero e proprio è quello che viene percepito a livello del cervello dopo che lo stimolo del colore è stato assorbito dai fotorecettori (coni e bastoncelli) e dopo un'elaborazione degli impulsi trasferito tramite il nervo ottico (**Percezione del colore**).

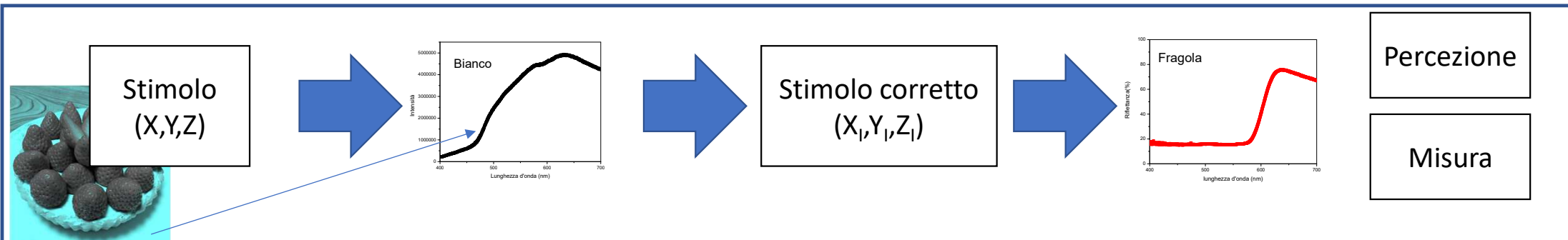
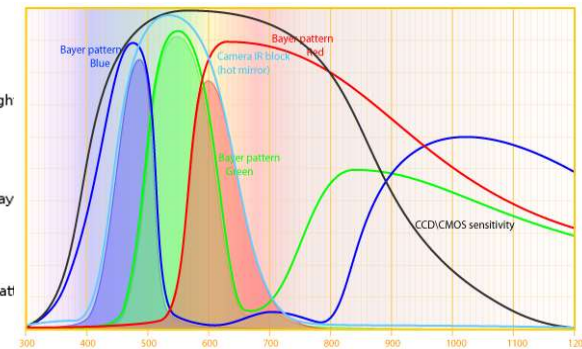
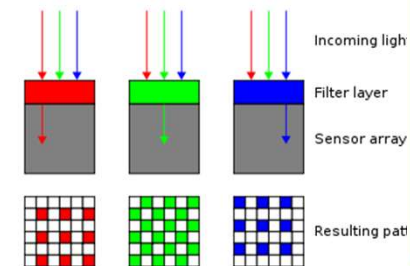
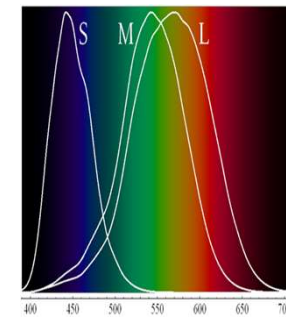
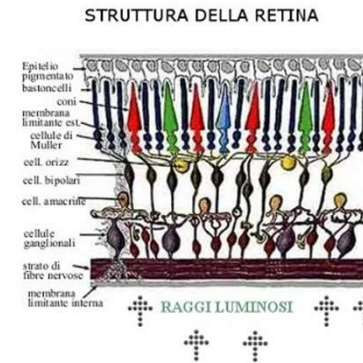
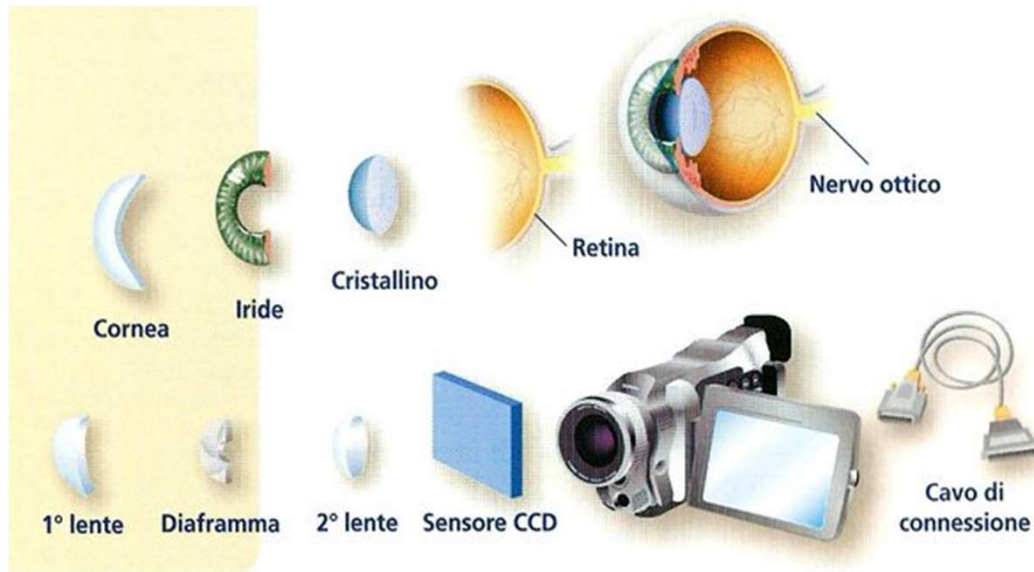
Questo secondo punto è fondamentale perché permette di riconoscere lo stesso colore in condizioni di illuminazione molto diverse.



Illusione Ottica?

In un esperimento siamo interessati alle proprietà del materiale, non alla sonda!

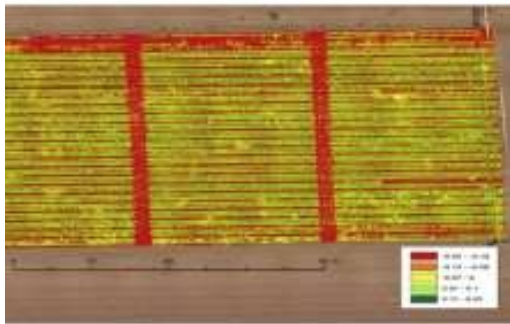
Riprodurre la visione



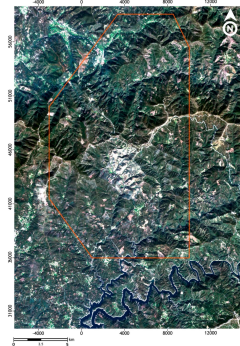
Immagini e Indice di colore

$$GRVI = \frac{\rho_{green} - \rho_{red}}{\rho_{green} + \rho_{red}}$$

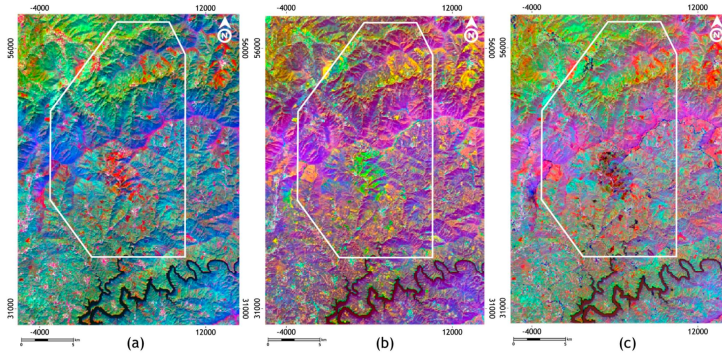
Riconoscere le
piante e il loro
stato di salute



<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.017>

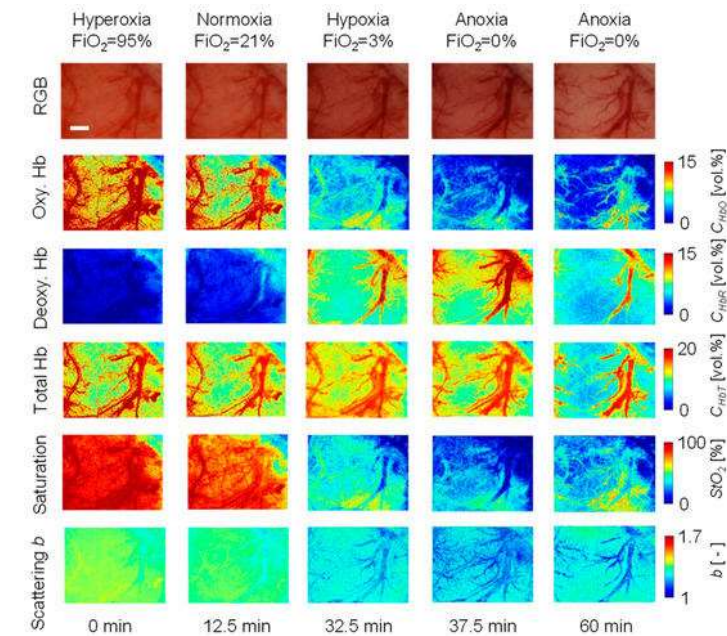


Elaborazione delle
componenti RGB per
riconoscere la
composizione geologica



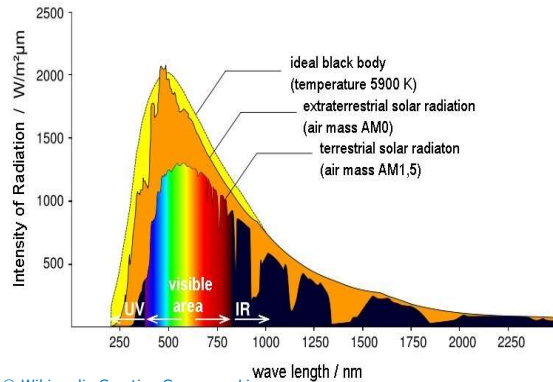
<https://doi.org/10.3390/min7100184>

Diagnosi mediche... con un po'
di elaborazione del dato RGB



<https://doi.org/10.3390/ijms19020491>

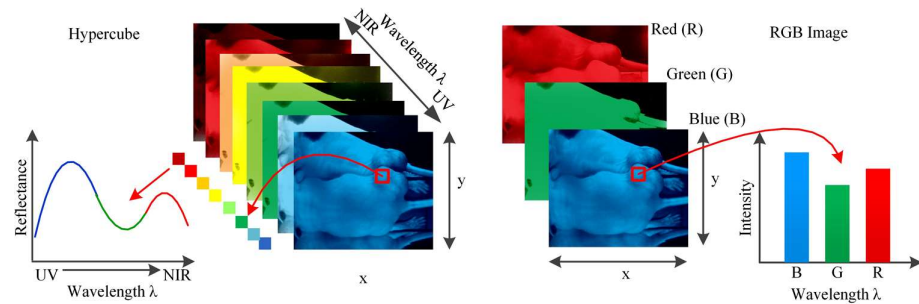
Estendere le capacità visive



X-Ray $\lambda \ll \text{luce}$

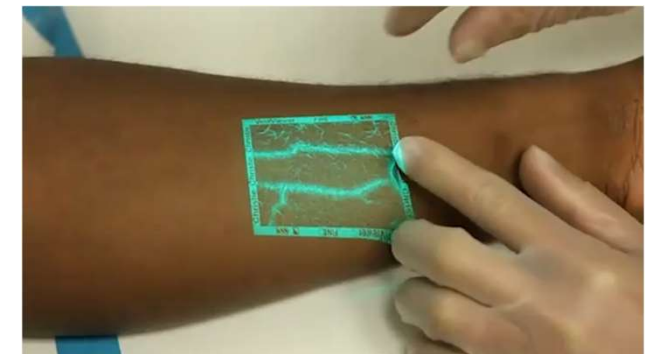


IR $\lambda > \text{luce}$



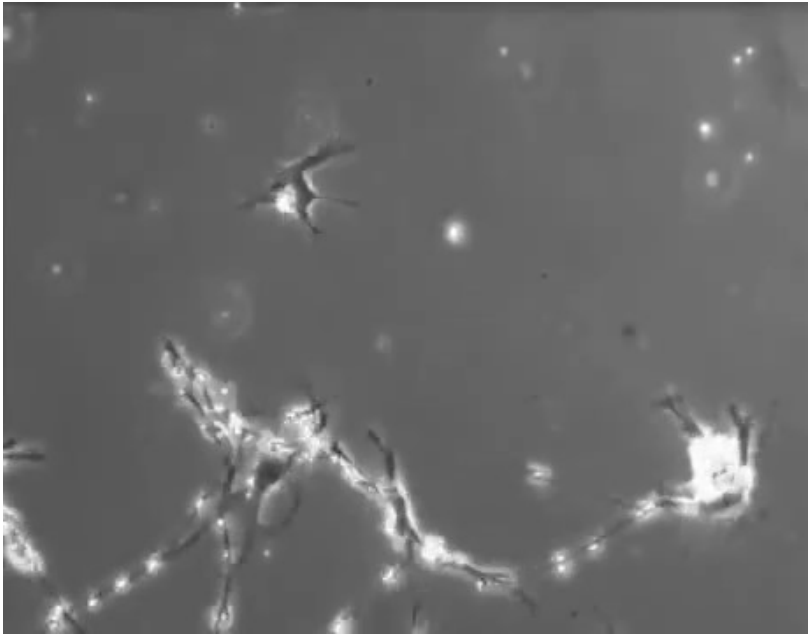
<https://doi.org/10.1117/1.JBO.19.1.010901>

Possiamo accedere a una vasta gamma di informazioni su ciò che ci circonda, anche in tempo reale, andando oltre quello che possiamo percepire dal semplice colore degli oggetti

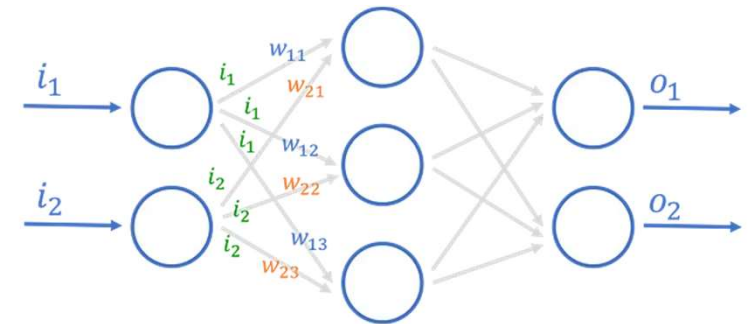
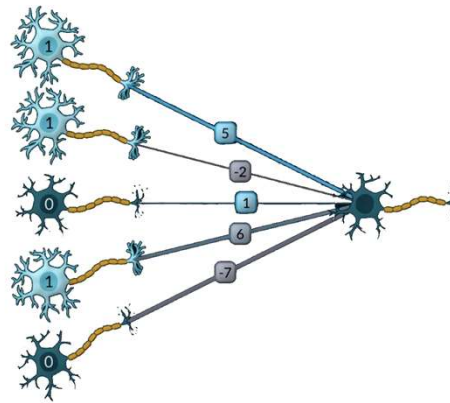


<https://www.youtube.com/watch?v=uWjx4yyNPww>

Intelligenza umana e artificiale



<https://www.youtube.com/watch?v=RxBQ1ICEnKE>

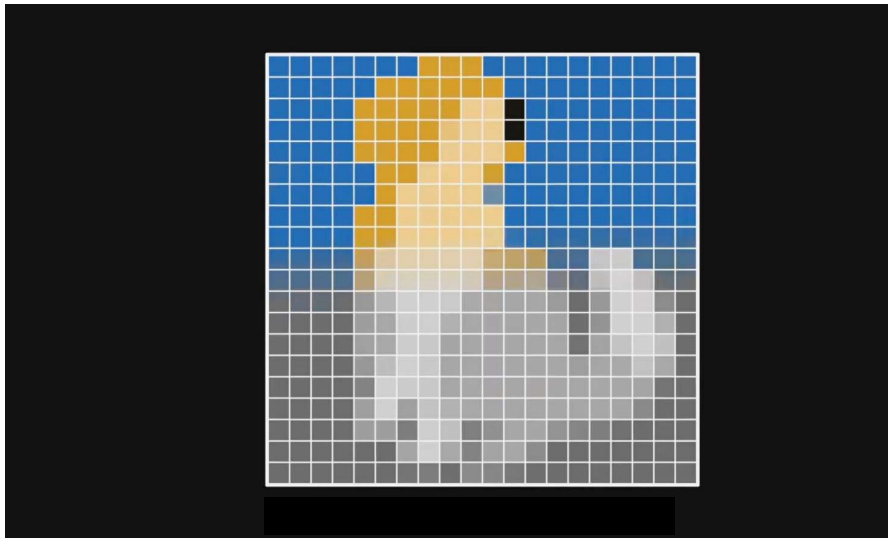
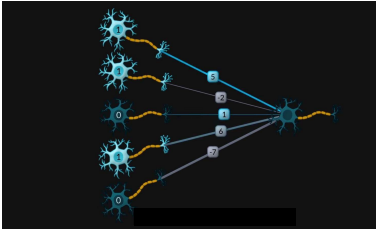


$$\begin{bmatrix} w_{11} & w_{21} \\ w_{12} & w_{22} \\ w_{13} & w_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (w_{11} \times i_1) + (w_{21} \times i_2) \\ (w_{12} \times i_1) + (w_{22} \times i_2) \\ (w_{13} \times i_1) + (w_{23} \times i_2) \end{bmatrix}$$

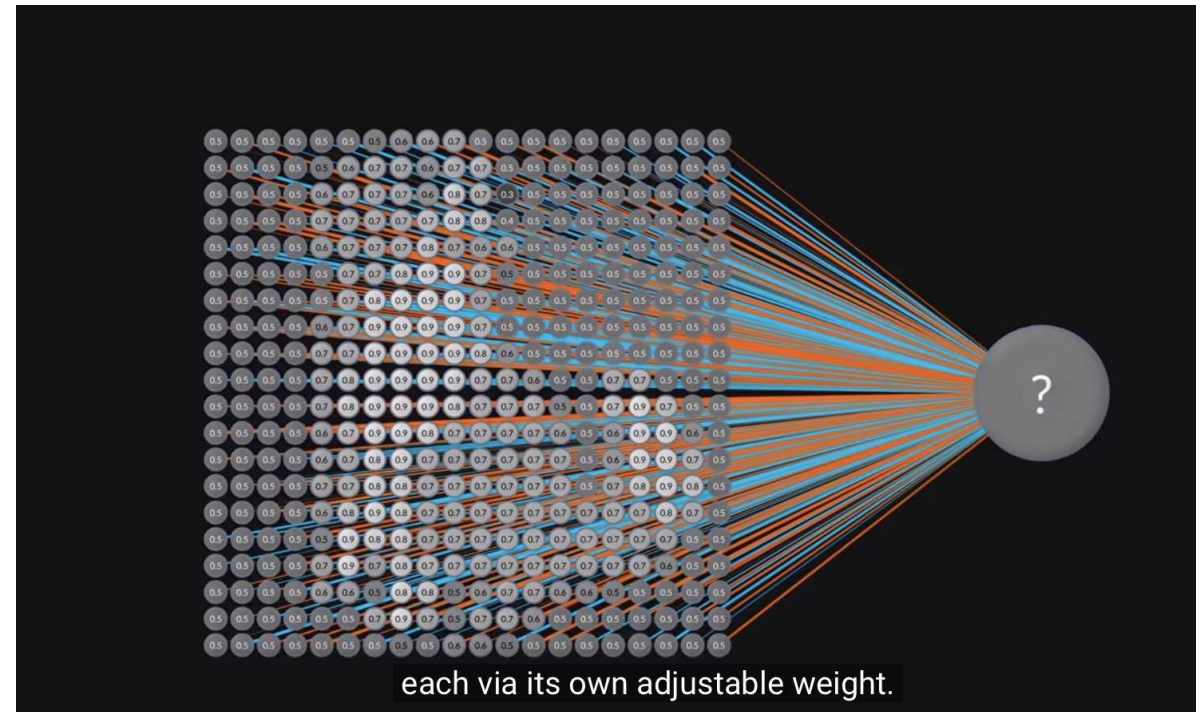
Linear Algebra for Deep Learning - Danny Denenberg

Perceptron

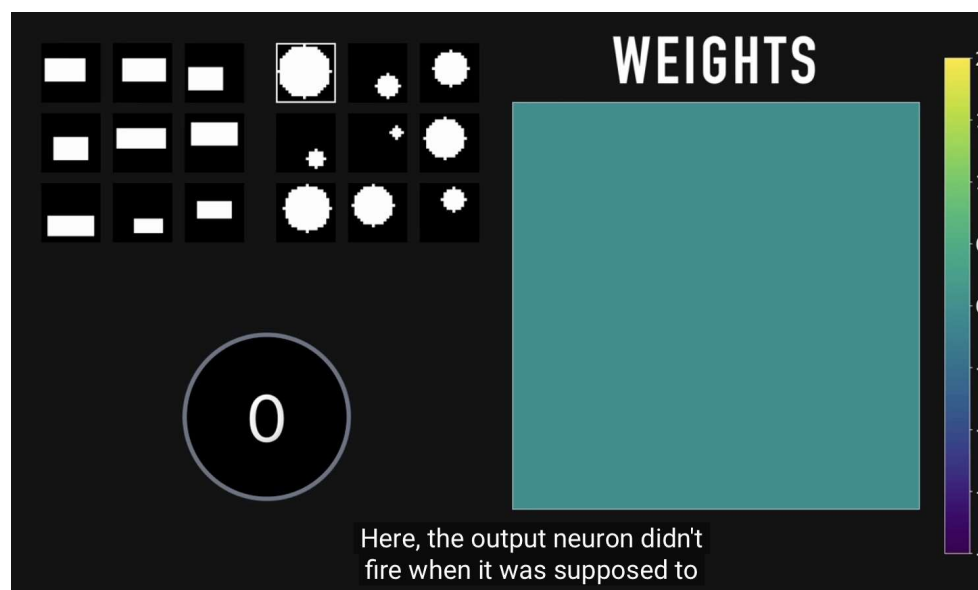
$20 \times 20 = 400$ pesi da aggiustare



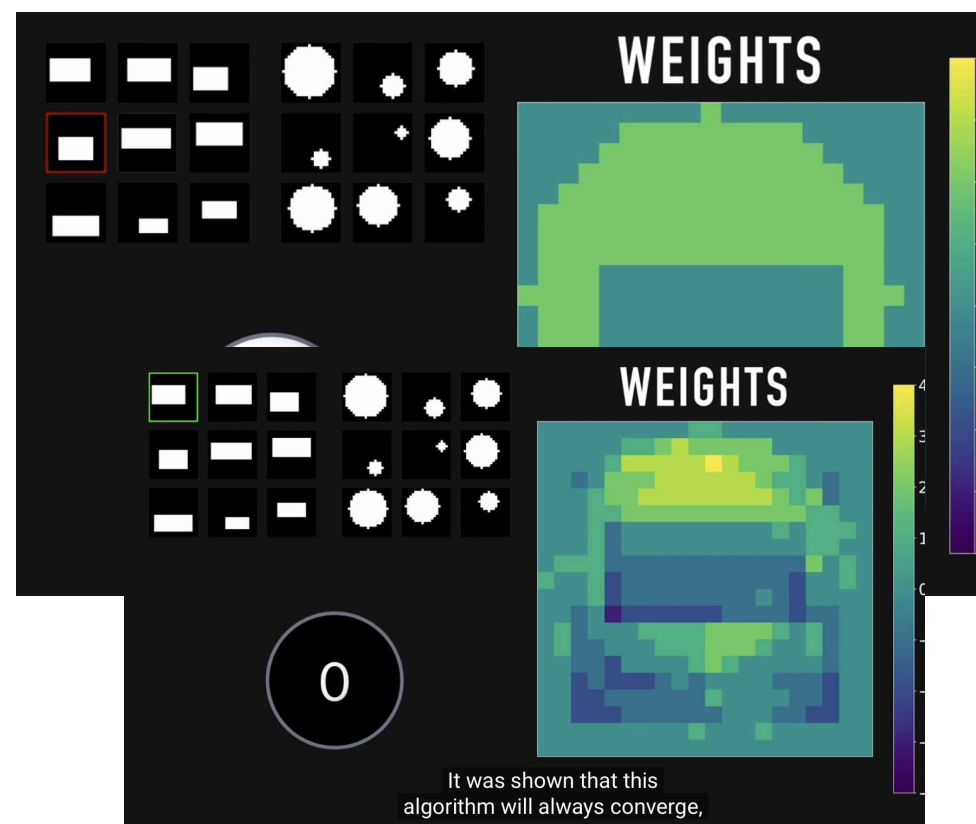
<https://www.youtube.com/watch?v=GVsUOuSjvcg>



Come si scelgono i pesi?



<https://www.youtube.com/watch?v=GVsUOuSjvcg>



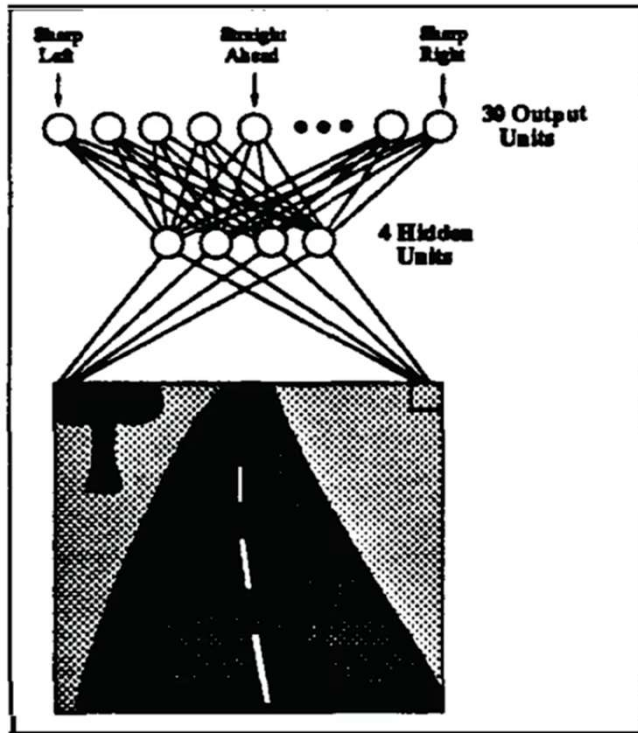


Da questo...

...a questo

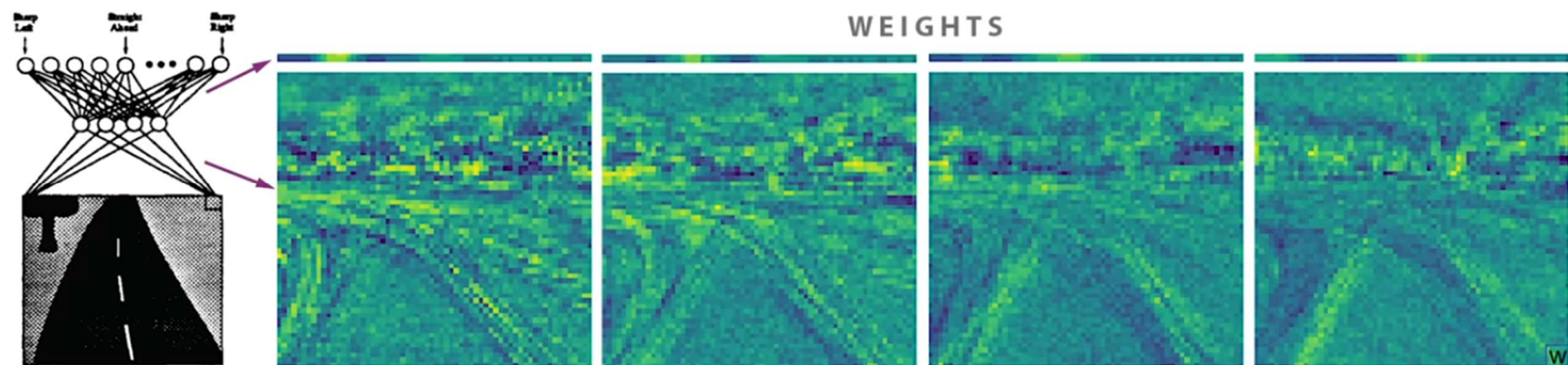


Era un tempo... ALVINN



<https://www.youtube.com/watch?v=H0igiP6Hg1k>

Era un tempo... ALVINN

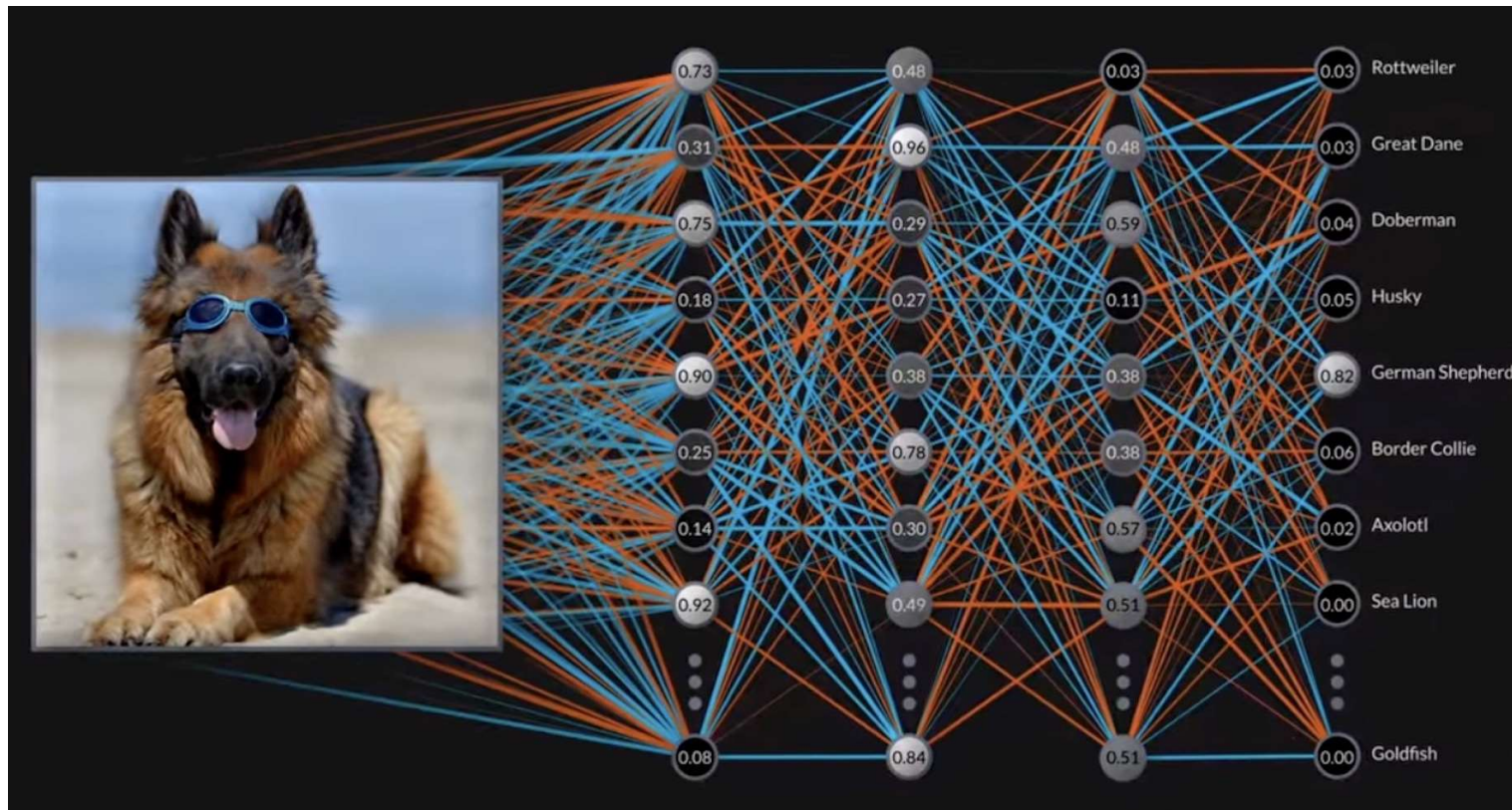


<https://www.youtube.com/watch?v=H0igiP6Hg1k>

Evoluzione... oltre il colore

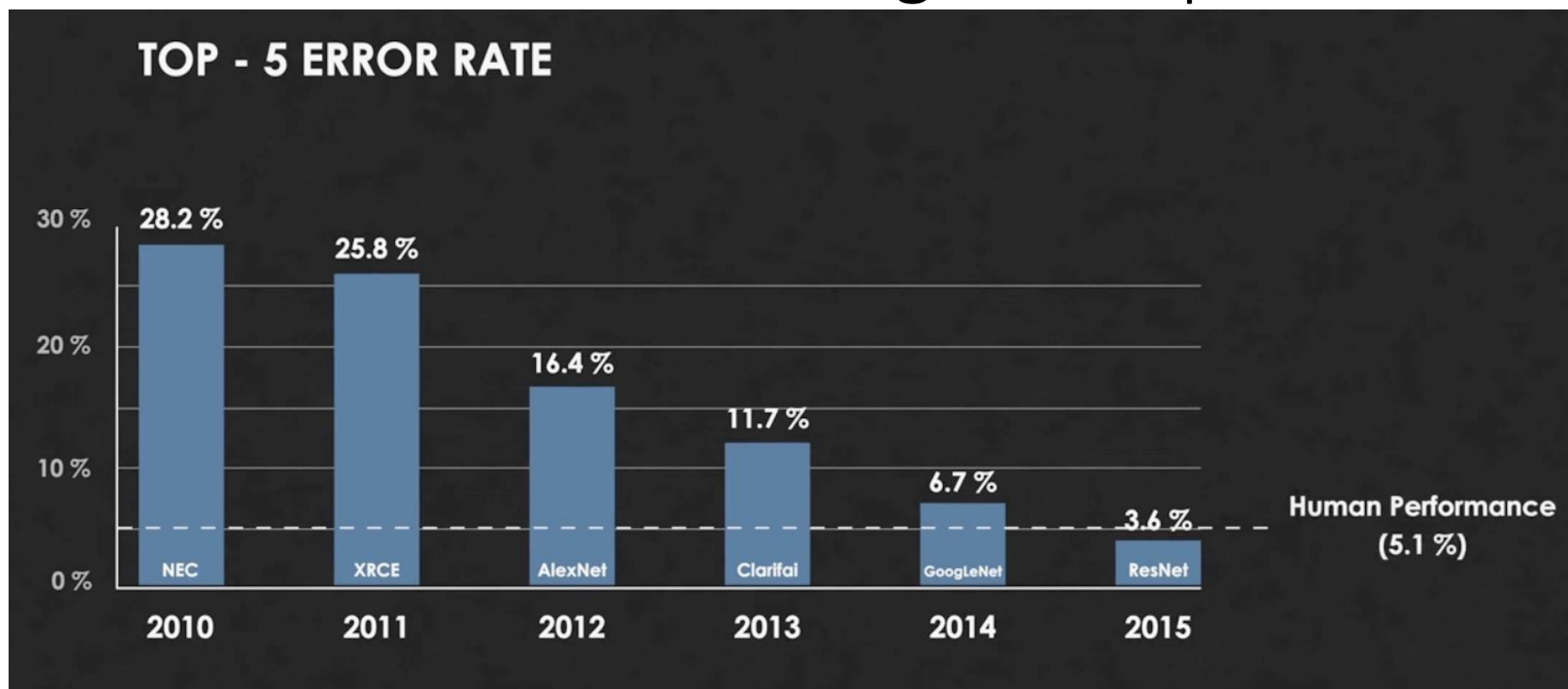
- 1986 NAVLAB 1 – Vision based navigation
- 1994 VAMP – Visione bifocale
- 1992-1999 Adaptive cruise control – LIDAR/Laser/Radar
- 2000 GPS, IMUs, Maps
- 2006 Park Shuttle Rotterdam – Linea dedicata, localizzazione tramite magneti
- 2006 Lidar e camere ad alta risoluzione (ricostruzione 3D accurata)
- 2010 VisLab Intercontinental Autonomous Challenge (16000 km da Parma a Shanghai)
- 2012 Deep Learning
- 2016 Tesla Autopilot (Camera, Radar, Ultrasonic sensors)

Deep Learning: Inserire strati intermedi migliora le performances



Aumenta notevolmente il numero dei pesi da aggiustare

Inserire strati intermedi migliora le performances



The “deep learning” approach

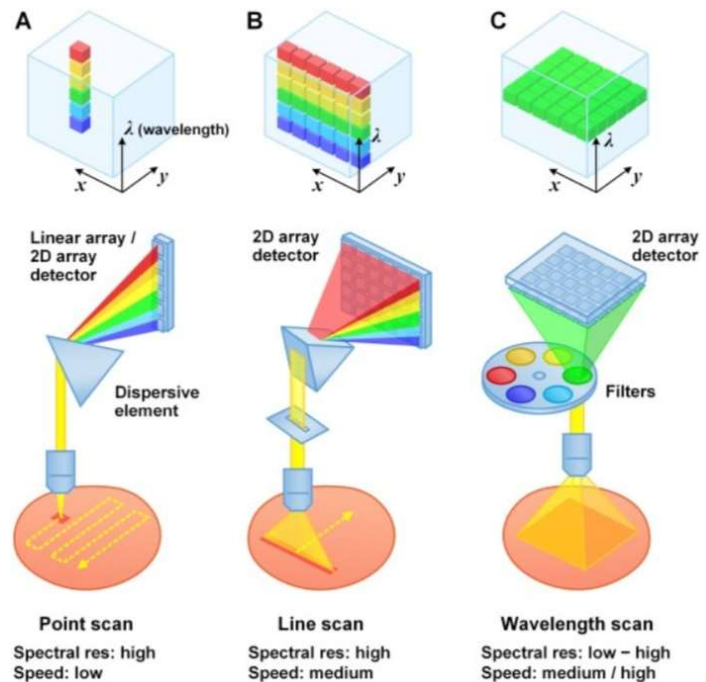
Oltre la guida autonoma: agricoltura di precisione



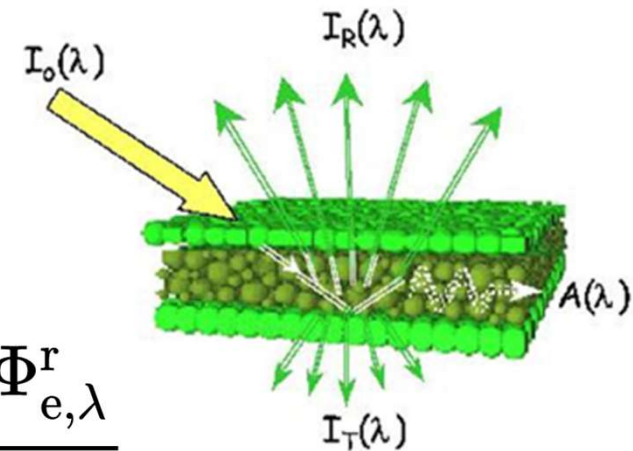
photos from Wikimedia



Agricoltura di precisione e IA

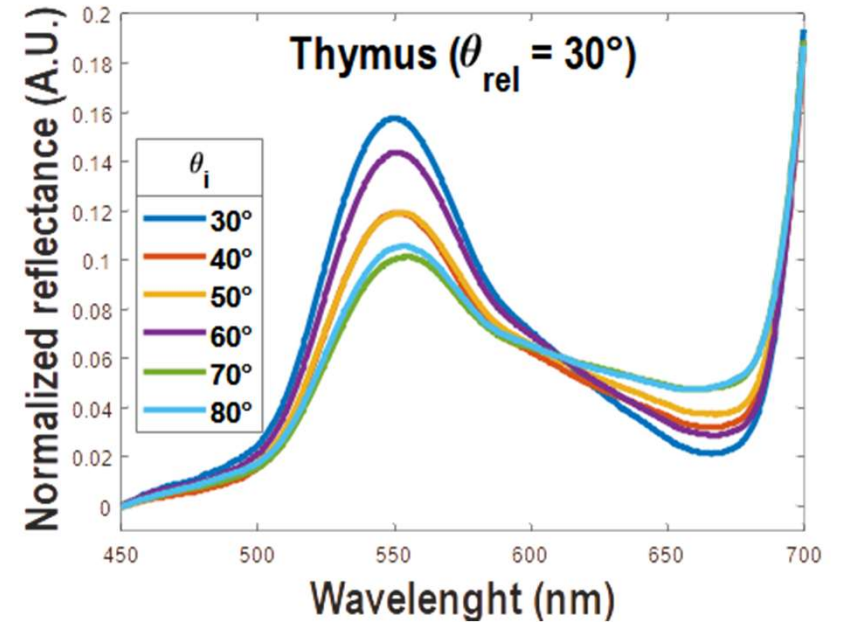
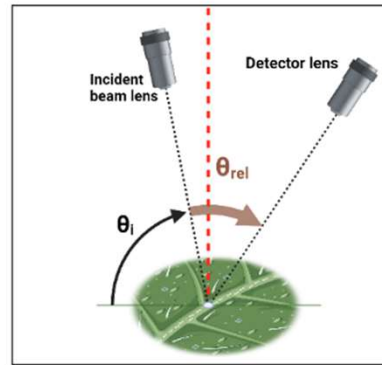
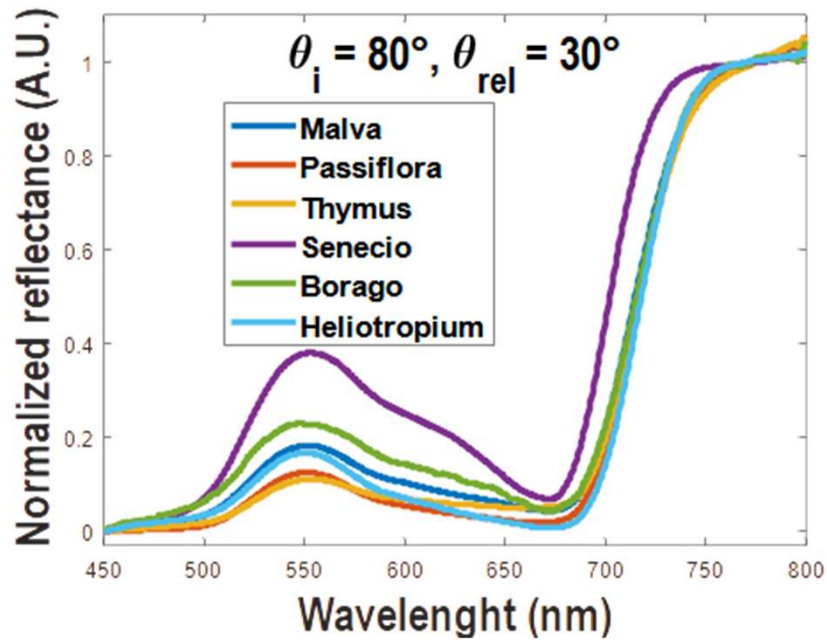


$$R_{\lambda} = \frac{\Phi_{e,\lambda}^r}{\Phi_{e,\lambda}^i}$$



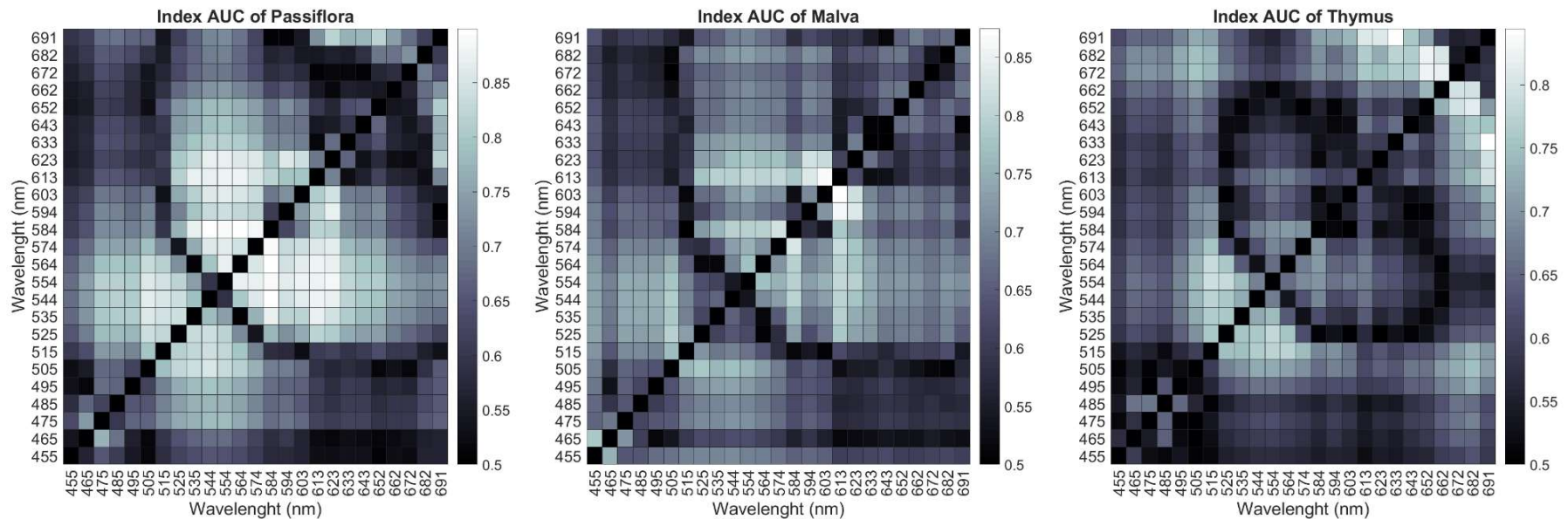
Wang, Yu Winston, et al. "Multiplexed optical imaging of tumor-directed nanoparticles: a review of imaging systems and approaches." *Nanotheranostics* 1.4 (2017): 369.

Agricoltura di precisione e IA

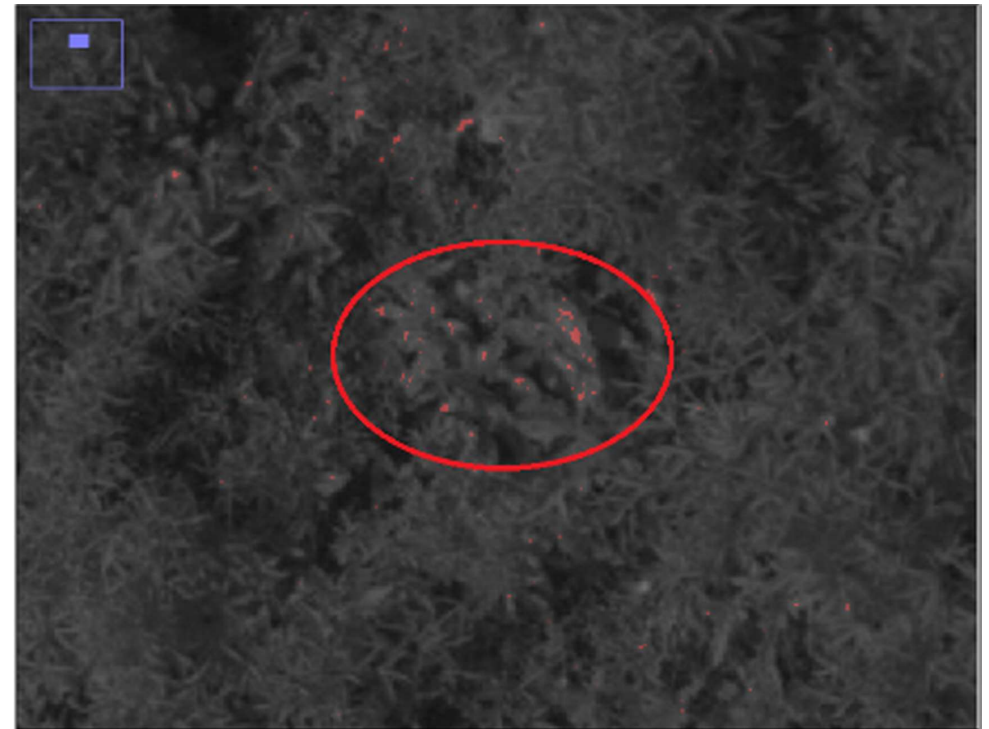


Agricoltura di precisione e IA

Binary classifier threshold on index R1/R2

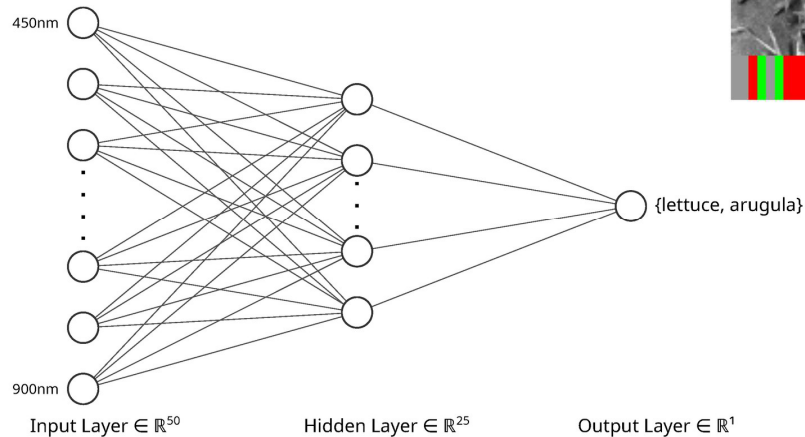
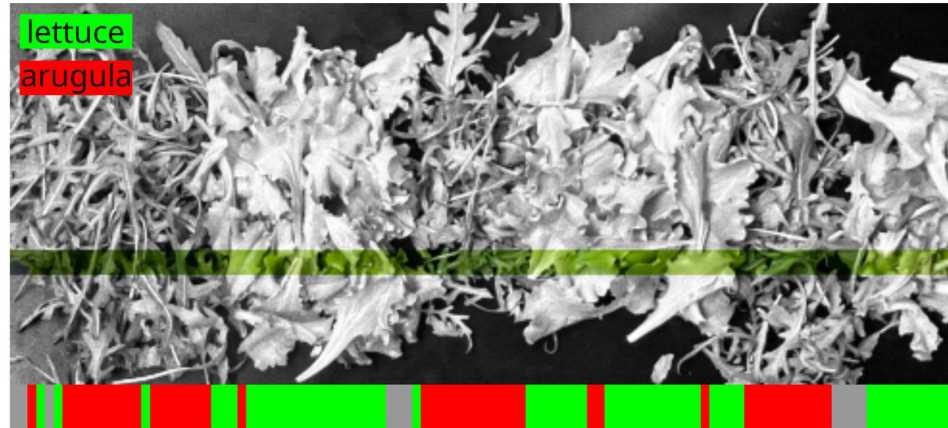
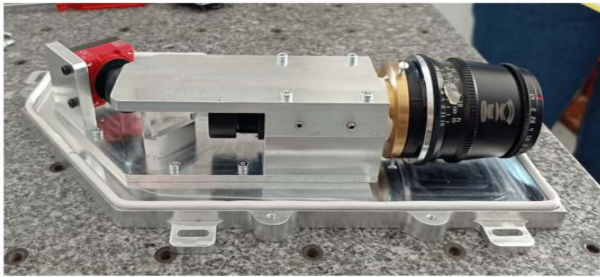


Agricoltura di precisione e IA: individuazione in tempo reale di infestanti da drone aereo



Agriculture 4.0: From Precision Agriculture to Smart Farming - Topical collection in Applied Sciences (ISSN 2076-3417)

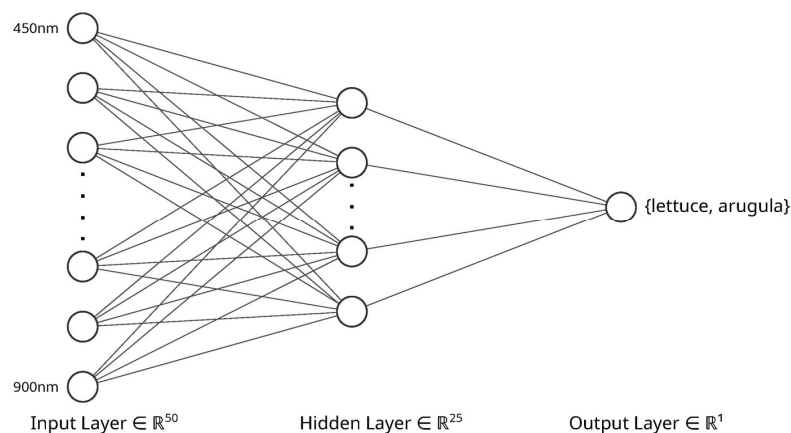
Agricoltura di precisione e IA: individuazione in tempo reale di piante da drone terrestre



		Prediction Outcome		Total
		Lettuce	Arugula	
Actual Value	Lettuce	67,290	203	67,493
	Arugula	120	21,446	21,566
Total		67,410	21,649	

Neri, Igor, et al. "Real-Time AI-Assisted Push-Broom Hyperspectral System for Precision Agriculture." Sensors 24.2 (2024): 344.

Oltre il digitale

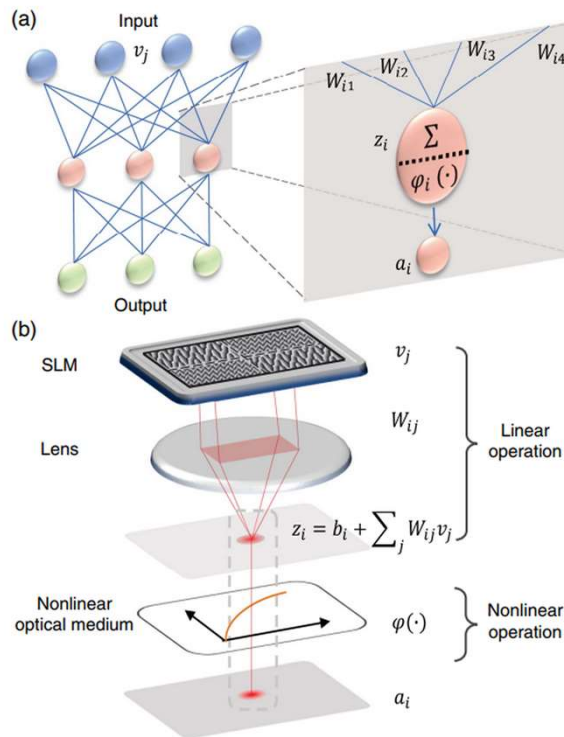


$$y = g \left(\sum_{i=0}^d w_i x_i + bias \right)$$

Ingredienti

- Somma
- Moltiplicazioni
- Funzione non-lineare

Oltre il digitale: Optical Neural Network



Somme e moltiplicazioni: e.g. spatial light modulators (SLMs), lenti di Fourier, micro-lens array (MLA), elementi olografici (HOE)

Funzioni non lineari: e.g. electromagnetically induced transparency (EIT), feedback con componenti digitali (thresholds)

Zuo, Ying, et al. "All-optical neural network with nonlinear activation functions." *Optica* 6.9 (2019): 1132-1137.

Conclusioni

- I sistemi di intelligenza artificiale applicati alla visione permettono di sostituire gli uomini nel riconoscimento di oggetti sempre più complessi
- Possono anche superare la visione umana:
 - negli aspetti legati al rilevamento del segnale luminoso (fuori dal visibile, o con maggior risoluzione spettrale)
 - nell'elaborazione del segnale (che è parte fondamentale della visione)
- Problemi etici o di sicurezza sono legati all'autonomia con cui i sistemi IA potranno operare

Grazie a tutti per l'attenzione

Domande?



