

Dimensione Cognitiva

3. Reti Neurali

Introduzione al Machine Learning

Giovanni Della Lunga
giovanni.dellalunga@unibo.it

A lezione di Intelligenza Artificiale

Siena - Giugno 2025

- 1 I Limiti dei Confini Lineari
- 2 Il Neurone Artificiale: Oltre la Linearità
- 3 Dal Riconoscimento di Forme al Linguaggio

I Limiti dei Confini Lineari

Dove Abbiamo Lasciato...

Recap: La Visione Geometrica

- Ogni dato = punto nello spazio multidimensionale
- Machine Learning = trovare confini ottimali
- Classificazione = separazione geometrica

La Formula Magica

$$\text{Decisione} = \text{sign}(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + b)$$

Ma cosa succede quando...

...i dati non sono linearmente separabili?

Dove Abbiamo Lasciato...

Recap: La Visione Geometrica

- Ogni dato = punto nello spazio multidimensionale
- Machine Learning = trovare confini ottimali
- Classificazione = separazione geometrica

La Formula Magica

$$\text{Decisione} = \text{sign}(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + b)$$

Ma cosa succede quando...

...i dati non sono linearmente separabili?

Dove Abbiamo Lasciato...

Recap: La Visione Geometrica

- Ogni dato = punto nello spazio multidimensionale
- Machine Learning = trovare confini ottimali
- Classificazione = separazione geometrica

La Formula Magica

$$\text{Decisione} = \text{sign}(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + b)$$

Ma cosa succede quando...

...i dati non sono linearmente separabili?

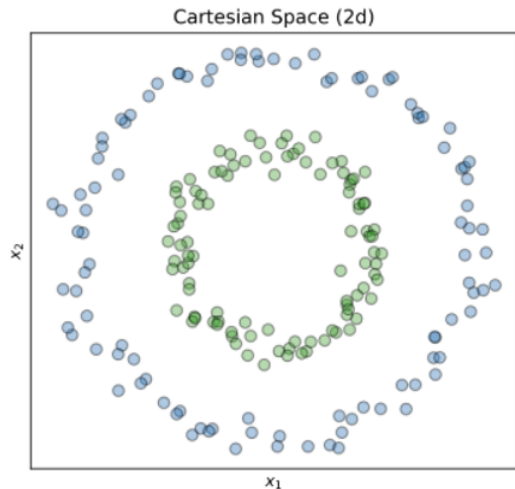
Un Problema che Non Riusciamo a Risolvere

Scenario: Riconoscimento Volti

- x_1 : Luminosità media
- x_2 : Contrasto dell'immagine

Il Problema:

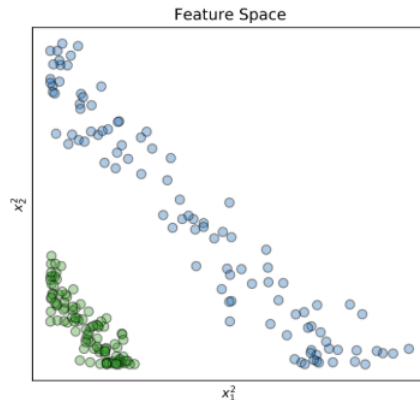
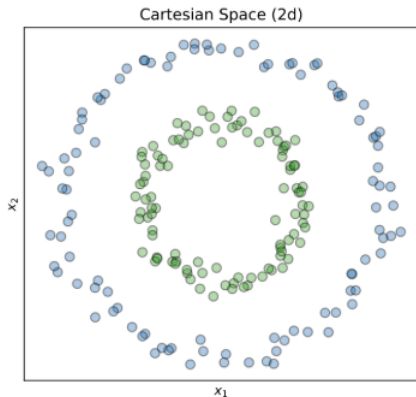
Non esiste una linea retta che separi “volto” da “non volto”!



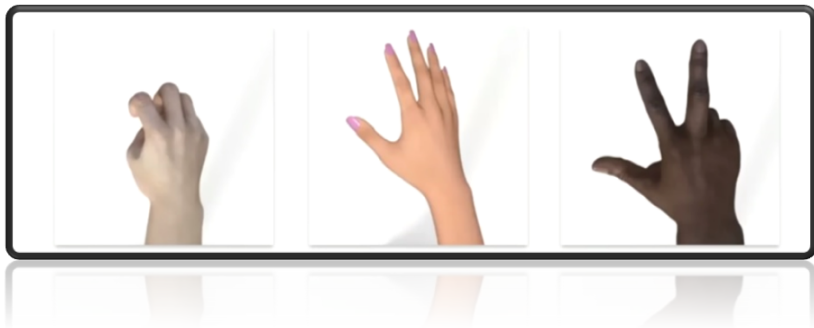
Un Problema che Non Riusciamo a Risolvere

La soluzione:

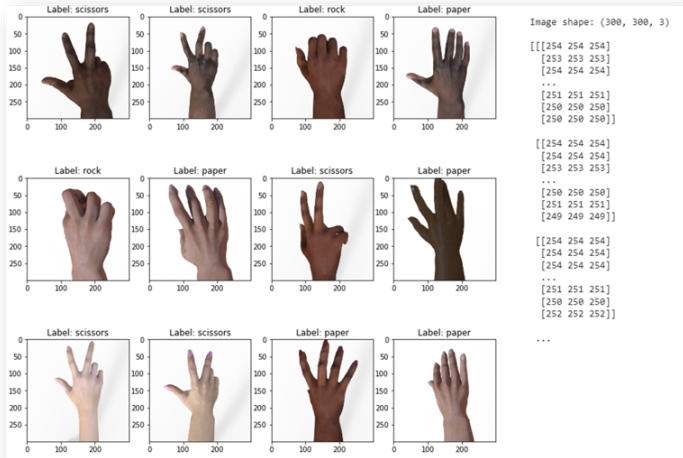
Possiamo però trasformare i dati del problema!



Un problema apparentemente semplice



Un problema apparentemente semplice



Il Neurone Artificiale: Oltre la Linearità

Ispirazione Biologica

Il cervello umano processa informazioni attraverso miliardi di neuroni interconnessi

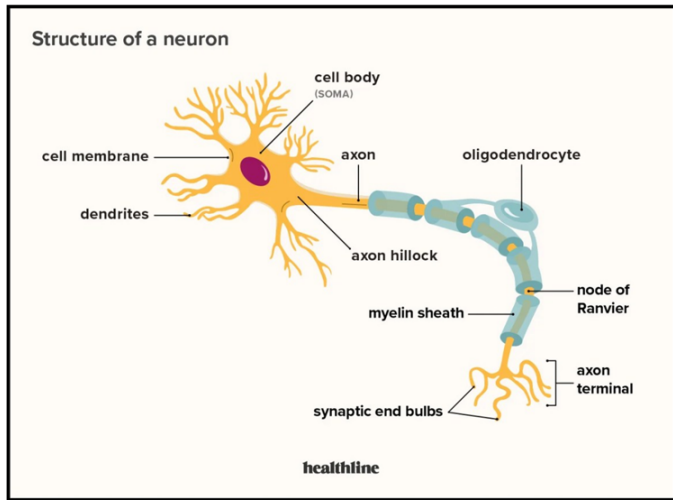
Neurone Artificiale = Modello Lineare + Funzione Non-Lineare

$$\text{output} = f \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b \right)$$

dove f è una **funzione di attivazione non-lineare**

Ricezione del segnale

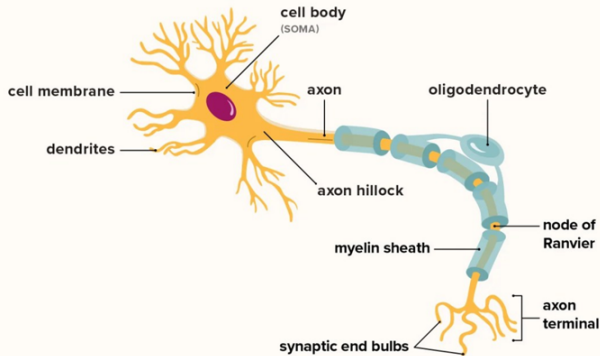
- Un neurone biologico riceve segnali attraverso le sue strutture dendritiche, che sono estensioni ramificate che catturano i segnali chimici inviati da altri neuroni attraverso le sinapsi.
- Questi segnali chimici, noti come neurotrasmettitori, vengono convertiti in segnali elettrici all'interno del neurone.



Processamento del segnale

- I segnali elettrici ricevuti dai dendriti si propagano verso il corpo cellulare del neurone, dove vengono **integrati** e processati.
- Se la **somma** dei segnali eccitatori e inibitori raggiunge una certa soglia, il neurone genera un potenziale d'azione, un impulso elettrico che viaggia lungo l'assone.

Structure of a neuron



healthline

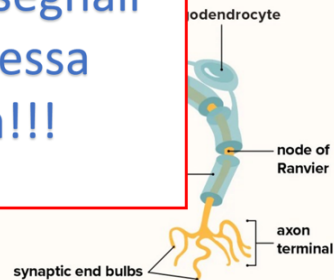
Processamento

- I segnali elettrici nei dendriti si propagano nel corpo cellulare dove vengono processati.
- Se la **somma** degli eccitatori e inibitori supera una certa soglia, il neurone genera un potenziale d'azione, un impulso elettrico che viaggia lungo l'assone.



Structure of a neuron

Non tutti i segnali hanno la stessa importanza!!!

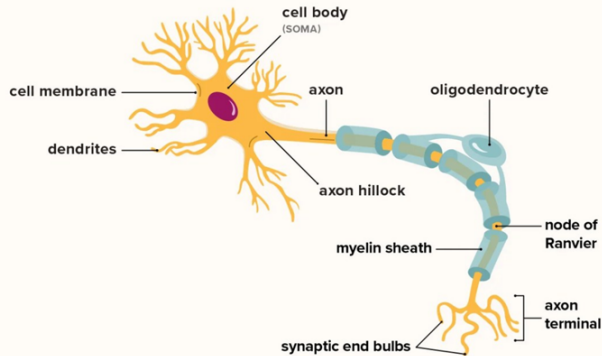


healthline

Trasmissione del segnale

- Il potenziale d'azione percorre l'assone, una lunga proiezione del neurone, fino a raggiungere le terminazioni sinaptiche.
- Qui, il segnale elettrico provoca il rilascio di neurotrasmettitori nelle sinapsi, che attraversano lo spazio sinaptico e si legano ai recettori sui dendriti del neurone successivo, ripetendo il ciclo di comunicazione neuronale.

Structure of a neuron



healthline

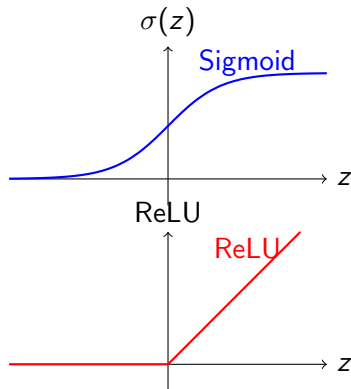
Funzioni di Attivazione: Gli Interruttori Intelligenti

Sigmoid: $\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}}$

- Output tra 0 e 1
- “Interruttore morbido”
- Interpretabile come probabilità

ReLU: $f(z) = \max(0, z)$

- Semplice ed efficace
- “Attiva o spegni”
- Molto usata oggi



TO DO

Il Concetto di Rappresentazione

Definizione

Una **rappresentazione** è il modo in cui i dati vengono codificati internamente dall'algoritmo per facilitare il compito da svolgere.

Rappresentazione Originale

- Pixel dell'immagine
- Parole del testo
- Note musicali

Rappresentazione Appresa

- Bordi e forme
- Concetti semantici
- Armonie e ritmi

Intuizione Chiave

Le reti neurali imparano a **trasformare** i dati in rappresentazioni più utili per il problema!

Il Concetto di Rappresentazione

Definizione

Una **rappresentazione** è il modo in cui i dati vengono codificati internamente dall'algoritmo per facilitare il compito da svolgere.

Rappresentazione Originale

- Pixel dell'immagine
- Parole del testo
- Note musicali

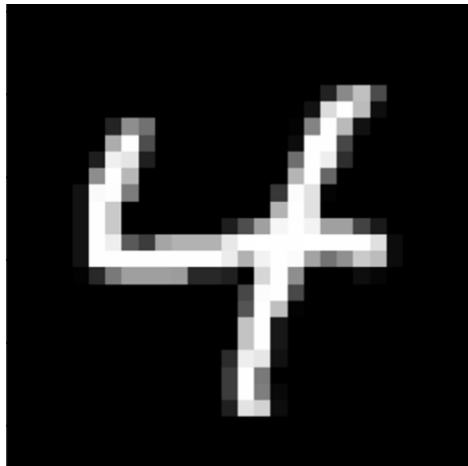
Rappresentazione Appresa

- Bordi e forme
- Concetti semantici
- Armonie e ritmi

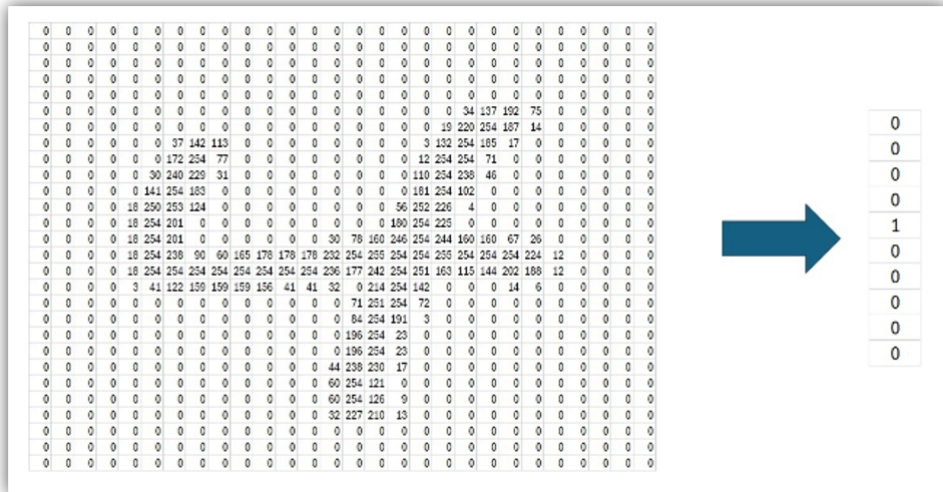
Intuizione Chiave

Le reti neurali imparano a **trasformare** i dati in rappresentazioni più utili per il problema!

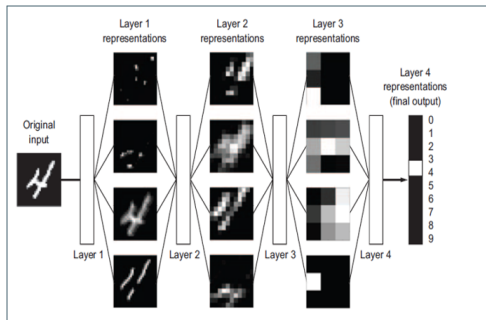
Esempio: Dall'Immagine al Concetto

[illegible]

Esempio: Dall'Immagine al Concetto



Esempio: Dall'Immagine al Concetto



Trasformazione Progressiva

- 1 **Layer 1:** Rileva bordi e texture dai pixel
- 2 **Layer 2:** Combina bordi in forme geometriche
- 3 **Output:** Riconosce oggetti dalle forme

La Magia delle Rappresentazioni Intermedie

Esempio: Riconoscimento di Volti

Cosa impara ogni livello:

- **Layer 1:** Bordi, linee, contrasti
- **Layer 2:** Naso, occhi, bocca (parti del volto)
- **Layer 3:** Configurazioni facciali
- **Output:** “È un volto” o “Non è un volto”

Perché È Rivoluzionario?

- La rete **scopre automaticamente** le caratteristiche rilevanti
- Non dobbiamo più programmare manualmente “cosa cercare”
- Ogni layer costruisce su quello precedente
- Rappresentazioni sempre più **astratte** e **significative**

La Magia delle Rappresentazioni Intermedie

Esempio: Riconoscimento di Volti

Cosa impara ogni livello:

- **Layer 1:** Bordi, linee, contrasti
- **Layer 2:** Naso, occhi, bocca (parti del volto)
- **Layer 3:** Configurazioni facciali
- **Output:** “È un volto” o “Non è un volto”

Perché È Rivoluzionario?

- La rete **scopre automaticamente** le caratteristiche rilevanti
- Non dobbiamo più programmare manualmente “cosa cercare”
- Ogni layer costruisce su quello precedente
- Rappresentazioni sempre più **astratte** e **significative**

Visualizzare le Rappresentazioni: Un Esperimento Mentale

Scenario: Classificazione di Animali

Dati originali: 1000 immagini di cani e gatti (28x28 pixel = 784 dimensioni)

Spazio Originale (784D)

- Ogni pixel = una dimensione
- Dati molto “sparsi”
- Difficile trovare pattern

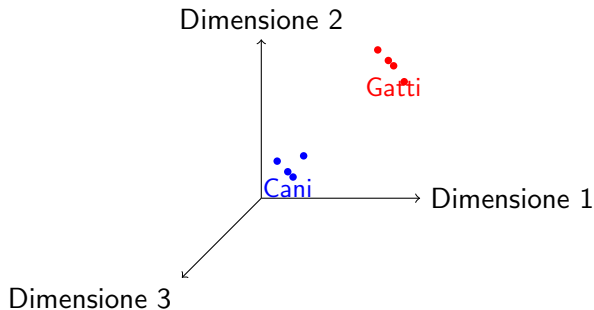
Rappresentazione Interna (3D)

- La rete “comprime” in 3D
- Cani e gatti si separano!
- Pattern evidenti

Visualizzare le Rappresentazioni: Un Esperimento Mentale

Scenario: Classificazione di Animali

Dati originali: 1000 immagini di cani e gatti (28x28 pixel = 784 dimensioni)



TO DO

Dal Riconoscimento di Forme al Linguaggio

Immagini: Convolutional Neural Networks (CNN)

- **Rappresentazione:** Da pixel a feature maps
- **Trasformazioni:** Convoluzione, pooling
- **Risultato:** Gerarchia di pattern visivi

Testo: Transformer e Word Embeddings

- **Rappresentazione:** Da parole a vettori numerici
- **Trasformazioni:** Attention mechanisms
- **Risultato:** Significato semantico e relazioni

