Implementazione di una Rete Convoluzionale in CUDA

Michele Valsesia

Nicholas Aspes

Anno accademico 2018/2019

Introduzione

Obiettivi

- Descrivere brevemente l'architettura ed il funzionamento di una *Rete Neurale*

Introduzione

Obiettivi

- Descrivere brevemente l'architettura ed il funzionamento di una *Rete Neurale*
- Motivare le differenti scelte implementative adottate durante lo svolgimento del progetto

Introduzione

Obiettivi

- Descrivere brevemente l'architettura ed il funzionamento di una *Rete Neurale*
- Motivare le differenti scelte implementative adottate durante lo svolgimento del progetto
- Valutare l'accuratezza e lo speed-up della rete rispetto ad una sua implementazione sequenziale

Reti Neurali

Reti Neurali

Scopo

- Le *Reti Neurali* vengono principalmente usate per la classificazione delle immagini

Reti Neurali

Scopo

- Le *Reti Neurali* vengono principalmente usate per la classificazione delle immagini

- Il processo di classificazione consiste nell'associare ad un'immagine un'etichetta che identifica nel miglior modo possibile il suo contenuto semantico

Reti Neurali

Scopo

- Le *Reti Neurali* vengono principalmente usate per la classificazione delle immagini
- Il processo di classificazione consiste nell'associare ad un'immagine un'etichetta che identifica nel miglior modo possibile il suo contenuto semantico
- Una *classe* non è altro che l'etichetta di un'immagine

Reti Neurali

Scopo

- Le *Reti Neurali* vengono principalmente usate per la classificazione delle immagini
- Il processo di classificazione consiste nell'associare ad un'immagine un'etichetta che identifica nel miglior modo possibile il suo contenuto semantico
- Una *classe* non è altro che l'etichetta di un'immagine
- Le reti neurali ricevono in input un'immagine e forniscono in output la relativa classe

Reti Neurali

Apprendimento

- Per poter classificare, una rete neurale deve *imparare* ad associare correttamente le immagini alle varie classi

Reti Neurali

Apprendimento

- Per poter classificare, una rete neurale deve *imparare* ad associare correttamente le immagini alle varie classi

- Il *training set* ed il *test set* sono due insiemi composti da coppie (immagini, etichette) chiamate *esempi*

Reti Neurali

Apprendimento

- Per poter classificare, una rete neurale deve *imparare* ad associare correttamente le immagini alle varie classi
- Il *training set* ed il *test set* sono due insiemi composti da coppie (immagini, etichette) chiamate *esempi*
- Le etichette di ciascun esempio vengono assegnate in maniera soggettiva da personale umano

Reti Neurali

Training Set

- Il training set viene usato durante la fase di apprendimento della rete

Reti Neurali

Training Set

- Il training set viene usato durante la fase di apprendimento della rete
- Per ognuno degli esempi del training set

Reti Neurali

Training Set

- Il training set viene usato durante la fase di apprendimento della rete

- Per ognuno degli esempi del training set
  - La rete riceve in input l'immagine dell'esempio considerato e l'associa ad una delle classi presenti

Reti Neurali

Training Set

- Il training set viene usato durante la fase di apprendimento della rete

- Per ognuno degli esempi del training set
  - La rete riceve in input l'immagine dell'esempio considerato e l'associa ad una delle classi presenti
  - Se la classe di output non corrisponde all'etichetta dell'esempio, la rete corregge i suoi parametri interni e passa all'immagine successiva

Reti Neurali

Test Set

- Il test set verifica che la rete abbia imparato a discriminare correttamente le immagini

Reti Neurali

Test Set

- Il test set verifica che la rete abbia imparato a discriminare correttamente le immagini

- Viene valutata l'*accuratezza* della rete come il rapporto tra il numero di esempi classificati scorrettamente ed il numero totale di esempi

Reti Neurali

Test Set

- Il test set verifica che la rete abbia imparato a discriminare correttamente le immagini
- Viene valutata l'*accuratezza* della rete come il rapporto tra il numero di esempi classificati scorrettamente ed il numero totale di esempi
- Per ognuno degli esempi del test set

Reti Neurali

Test Set

- Il test set verifica che la rete abbia imparato a discriminare correttamente le immagini
- Viene valutata l'*accuratezza* della rete come il rapporto tra il numero di esempi classificati scorrettamente ed il numero totale di esempi
- Per ognuno degli esempi del test set
  - La rete riceve in input l'immagine dell'esempio considerato e l'associa ad una delle classi presenti

Reti Neurali

Test Set

- Il test set verifica che la rete abbia imparato a discriminare correttamente le immagini

- Viene valutata l'*accuratezza* della rete come il rapporto tra il numero di esempi classificati scorrettamente ed il numero totale di esempi

- Per ognuno degli esempi del test set
  - La rete riceve in input l'immagine dell'esempio considerato e l'associa ad una delle classi presenti
  - Ogni volta che l'output della rete non corrisponde all'etichetta dell'esempio, viene incrementato un contatore, necessario al calcolo dell'accuratezza

Reti Neurali

Significato Biologico

- Le *Reti Neurali* nascono con lo scopo di modellare una rete neurale biologica

Reti Neurali

Significato Biologico

- Le *Reti Neurali* nascono con lo scopo di modellare una rete neurale biologica
- Una rete neurale biologica si compone di unità cellulari di base: i *neuroni*

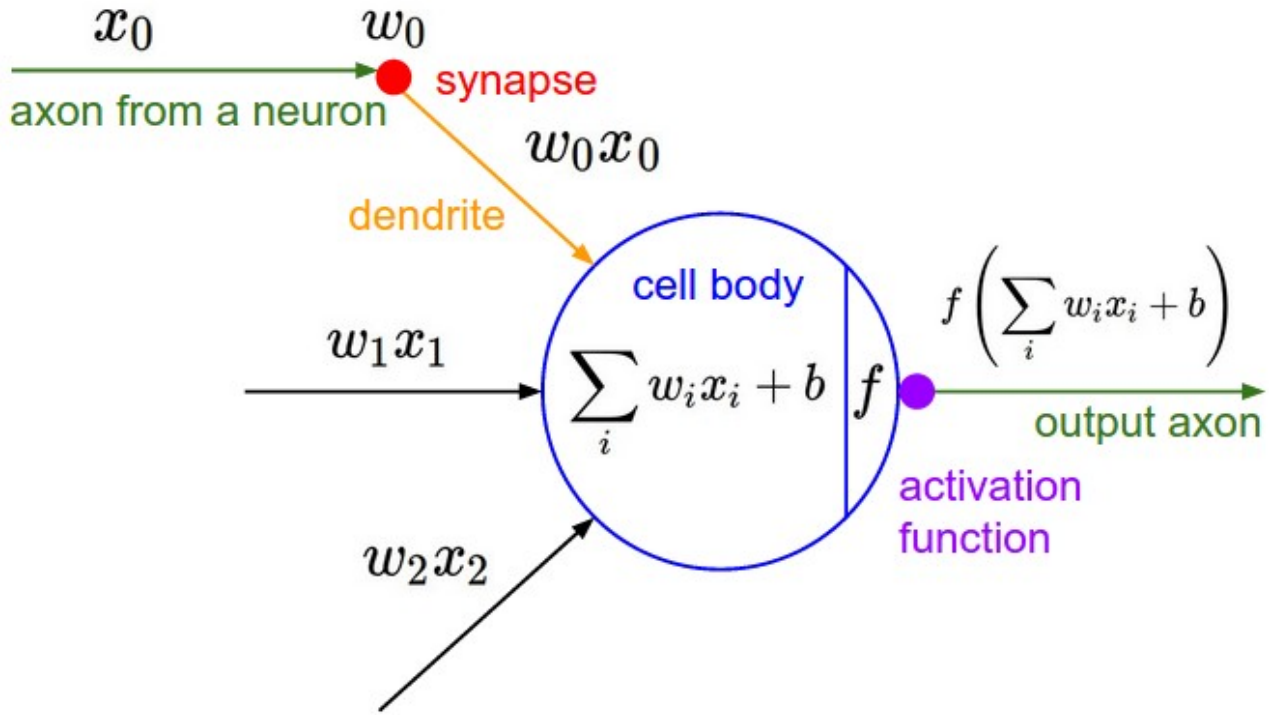
Reti Neurali

Significato Biologico

- Le *Reti Neurali* nascono con lo scopo di modellare una rete neurale biologica
- Una rete neurale biologica si compone di unità cellulari di base: i *neuroni*
- I neuroni sono collegati tra loro per mezzo di specifiche giunture chiamate *sinapsi*

Reti Neurali

Neurone



Modello matematico di un neurone

Reti Neurali

Funzionamento Neurone

- Attraverso un meccanismo di eccitazione ed inibizione i pesi sinaptici controllano quanto un neurone venga influenzato dagli altri

Reti Neurali

Funzionamento Neurone

- Attraverso un meccanismo di eccitazione ed inibizione i pesi sinaptici controllano quanto un neurone venga influenzato dagli altri

- I segnali pesati dalle differenti sinapsi vengono trasportati dai dendriti all'interno del neurone e sommati tra loro

Reti Neurali

Funzionamento Neurone

- Attraverso un meccanismo di eccitazione ed inibizione i pesi sinaptici controllano quanto un neurone venga influenzato dagli altri
- I segnali pesati dalle differenti sinapsi vengono trasportati dai dendriti all'interno del neurone e sommati tra loro
- Se la somma supera una certa soglia, il neurone *spara* un segnale lungo l'assone

Reti Neurali

Funzionamento Neurone

- Attraverso un meccanismo di eccitazione ed inibizione i pesi sinaptici controllano quanto un neurone venga influenzato dagli altri
- I segnali pesati dalle differenti sinapsi vengono trasportati dai dendriti all'interno del neurone e sommati tra loro
- Se la somma supera una certa soglia, il neurone *spara* un segnale lungo l'assone
- La *frequenza di sparo* del neurone viene modellata con una funzione di attivazione f

Reti Neurali

Funzioni di Attivazione

Definizione

Una *funzione di attivazione* è una funzione matematica non lineare usata per calcolare l'output di un neurone. Riceve come input la somma pesata dei segnali in ingresso al neurone

Reti Neurali

Funzioni di Attivazione

Definizione

Una *funzione di attivazione* è una funzione matematica non lineare usata per calcolare l'output di un neurone. Riceve come input la somma pesata dei segnali in ingresso al neurone

- *Sigmoide*

Reti Neurali

Funzioni di Attivazione

Definizione

Una *funzione di attivazione* è una funzione matematica non lineare usata per calcolare l'output di un neurone. Riceve come input la somma pesata dei segnali in ingresso al neurone

- *Sigmoide*
- *Tangente Iperbolica*

Reti Neurali

Funzioni di Attivazione

Definizione

Una *funzione di attivazione* è una funzione matematica non lineare usata per calcolare l'output di un neurone. Riceve come input la somma pesata dei segnali in ingresso al neurone

- *Sigmoide*
- *Tangente Iperbolica*
- *Softplus*

Reti Neurali

Sigmoide

Definizione

La *Sigmoide* $\sigma : \mathbb{R} \to [0, 1]$ è definita come $\sigma(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})}$

Reti Neurali

Sigmoide

Definizione

La *Sigmoide* $\sigma : \mathbb{R} \to [0, 1]$ è definita come $\sigma(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})}$

- Per elevati valori negativi di input la sigmoide restituisce 0: il neurone non spara affatto

Reti Neurali

Sigmoide

Definizione

La *Sigmoide* $\sigma : \mathbb{R} \to [0, 1]$ è definita come $\sigma(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})}$

- Per elevati valori negativi di input la sigmoide restituisce 0: il neurone non spara affatto
- Per elevati valori positivi di input la sigmoide restituisce 1: il neurone satura e spara con una frequenza di sparo pari a 1

Reti Neurali

Sigmoide

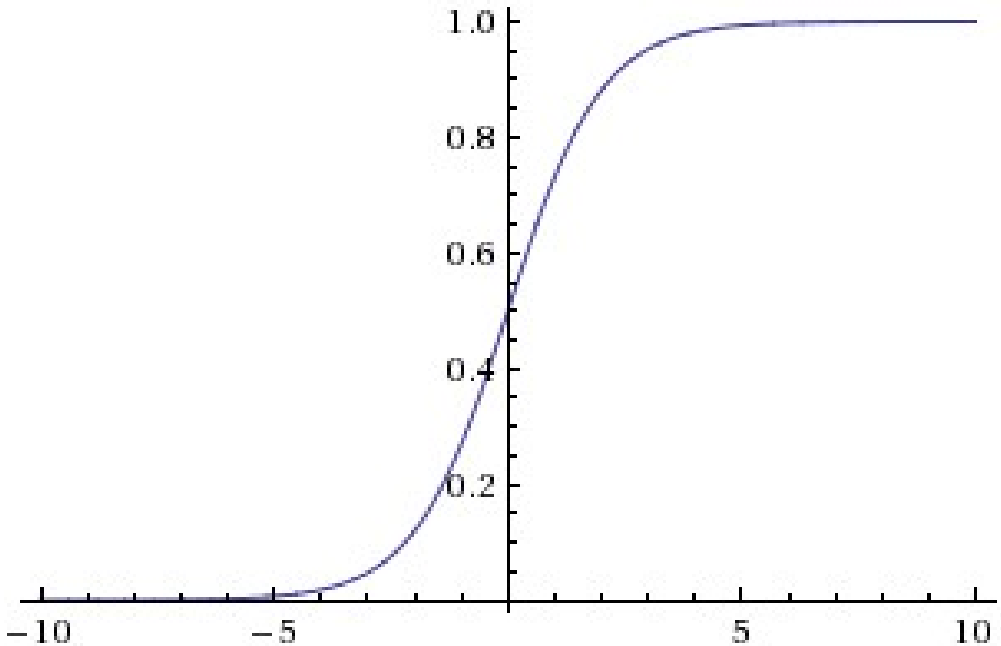
Definizione

La *Sigmoide* $\sigma : \mathbb{R} \to [0, 1]$ è definita come $\sigma(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})}$

- Per elevati valori negativi di input la sigmoide restituisce 0: il neurone non spara affatto
- Per elevati valori positivi di input la sigmoide restituisce 1: il neurone satura e spara con una frequenza di sparo pari a 1
- La sua derivata è uguale a $\sigma'(x) = 1 - \sigma(x)$

Reti Neurali

Sigmoide



Rappresentazione grafica Sigmoide

Reti Neurali

Tangente Iperbolica

Definizione

La *Tangente Iperbolica* $\tanh : \mathbb{R} \to [-1, 1]$ è definita come $\tanh(x) = 2\sigma(2x) - 1$

Reti Neurali

Tangente Iperbolica

Definizione

La *Tangente Iperbolica* $\tanh : \mathbb{R} \to [-1, 1]$ è definita come $\tanh(x) = 2\sigma(2x) - 1$

- La tangente iperbolica è una sigmoide scalata

Reti Neurali

Tangente Iperbolica

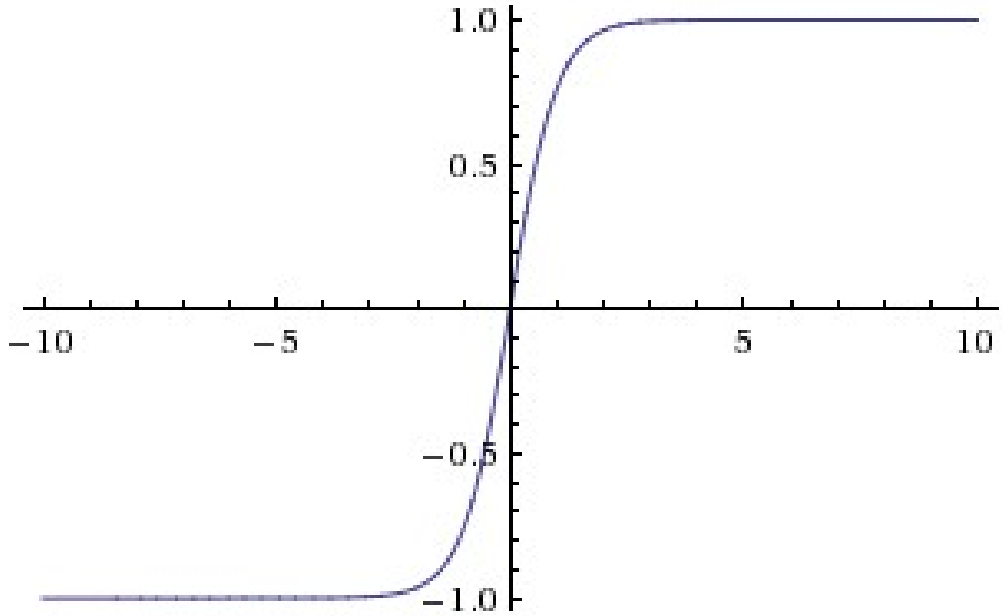
Definizione

La *Tangente Iperbolica* $\tanh : \mathbb{R} \to [-1, 1]$ è definita come $\tanh(x) = 2\sigma(2x) - 1$

- La tangente iperbolica è una sigmoide scalata
- La sua derivata è uguale a $\tanh'(x) = 1 - \tanh^2(x)$

Reti Neurali

Tangente Iperbolica



Rappresentazione grafica Tangente Iperbolica

Reti Neurali

Softplus

Definizione

La *Softplus* $s : \mathbb{R} \to [0, +\infty]$ è definita come $s(x) = \log(1 + e^x)$

Reti Neurali

Softplus

Definizione

La *Softplus* $s : \mathbb{R} \to [0, +\infty]$ è definita come $s(x) = \log(1 + e^x)$

- La softplus è un approssimazione della *Rectifier Linear Unit (ReLU)*

Reti Neurali

Softplus

Definizione

La *Softplus* $s : \mathbb{R} \to [0, +\infty]$ è definita come $s(x) = \log(1 + e^x)$

- La softplus è un approssimazione della *Rectifier Linear Unit (ReLU)*
- Viene usata per sostituire la ReLU che presenta un punto di discontinuità in 0

Reti Neurali

Softplus

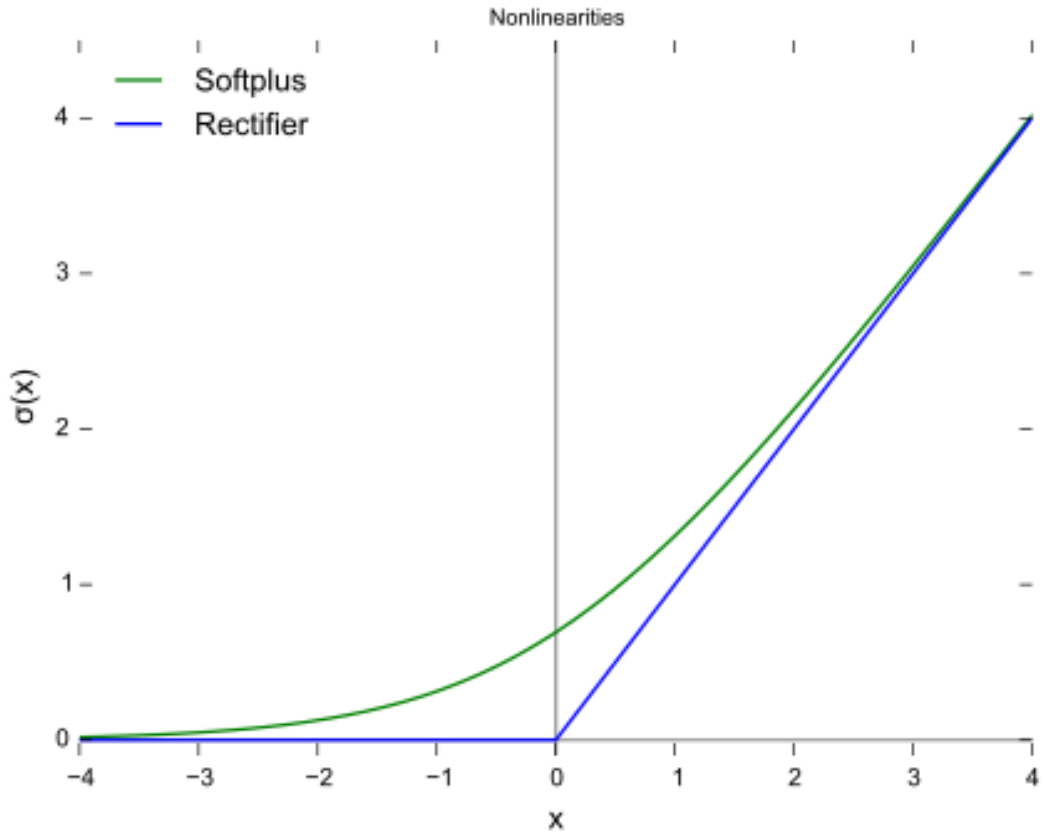
Definizione

La *Softplus* $s : \mathbb{R} \to [0, +\infty]$ è definita come $s(x) = \log(1 + e^x)$

- La softplus è un approssimazione della *Rectifier Linear Unit (ReLU)*
- Viene usata per sostituire la ReLU che presenta un punto di discontinuità in 0
- La sua derivata è uguale a $s'(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})}$

Reti Neurali

Softplus



Confronto grafico tra ReLU e Softplus

Reti Neurali

Rete Neurale

Definizione

Una *Rete Neurale* è composta da un insieme di neuroni connessi tra loro in un grafo aciclico

Reti Neurali

Rete Neurale

Definizione

Una *Rete Neurale* è composta da un insieme di neuroni connessi tra loro in un grafo aciclico

- I neuroni sono organizzati in insiemi distinti chiamati *livelli* o *layer*

Reti Neurali

Rete Neurale

Definizione

Una *Rete Neurale* è composta da un insieme di neuroni connessi tra loro in un grafo aciclico

- I neuroni sono organizzati in insiemi distinti chiamati *livelli* o *layer*
- I livelli vengono posti uno di seguito all'altro in modo da formare una sequenza

Reti Neurali

Rete Neurale

Definizione

Una *Rete Neurale* è composta da un insieme di neuroni connessi tra loro in un grafo aciclico

- I neuroni sono organizzati in insiemi distinti chiamati *livelli* o *layer*
- I livelli vengono posti uno di seguito all'altro in modo da formare una sequenza
- I livelli intermedi prendono il nome di *hidden*

Reti Neurali

Rete Neurale

Definizione

Una *Rete Neurale* è composta da un insieme di neuroni connessi tra loro in un grafo aciclico

- I neuroni sono organizzati in insiemi distinti chiamati *livelli* o *layer*
- I livelli vengono posti uno di seguito all'altro in modo da formare una sequenza
- I livelli intermedi prendono il nome di *hidden*
- L'output dei neuroni di un livello diventano l'input dei neuroni del livello successivo

Reti Neurali

Rete Neurale

- Quando si effettua il conteggio dei livelli di una rete non si considera il livello di input

Reti Neurali

Rete Neurale

- Quando si effettua il conteggio dei livelli di una rete non si considera il livello di input

- Una rete a *singolo livello* non presenta livelli hidden

Reti Neurali

Rete Neurale

- Quando si effettua il conteggio dei livelli di una rete non si considera il livello di input
- Una rete a *singolo livello* non presenta livelli hidden
- Per determinare la grandezza di una rete ci si concentra sul numero di neuroni e sui relativi pesi ad essi associati

Reti Neurali

Livello Fully-Connected

Definizione

Un livello è di tipo *Fully-Connected* quando i neuroni appartenenti a due livelli adiacenti sono completamente connessi tra loro mentre i neuroni associati ad un singolo livello non condividono nessuna connessione

Reti Neurali

Livello Fully-Connected

Definizione

Un livello è di tipo *Fully-Connected* quando i neuroni appartenenti a due livelli adiacenti sono completamente connessi tra loro mentre i neuroni associati ad un singolo livello non condividono nessuna connessione

- I pesi dei neuroni di un livello vengono salvati all'interno di matrici

Reti Neurali

Livello Fully-Connected

Definizione

Un livello è di tipo *Fully-Connected* quando i neuroni appartenenti a due livelli adiacenti sono completamente connessi tra loro mentre i neuroni associati ad un singolo livello non condividono nessuna connessione

- I pesi dei neuroni di un livello vengono salvati all'interno di matrici
- Le righe della matrice identificano i neuroni del livello mentre le colonne rappresentano i pesi di ciascun neurone

Reti Neurali

Livello Fully-Connected

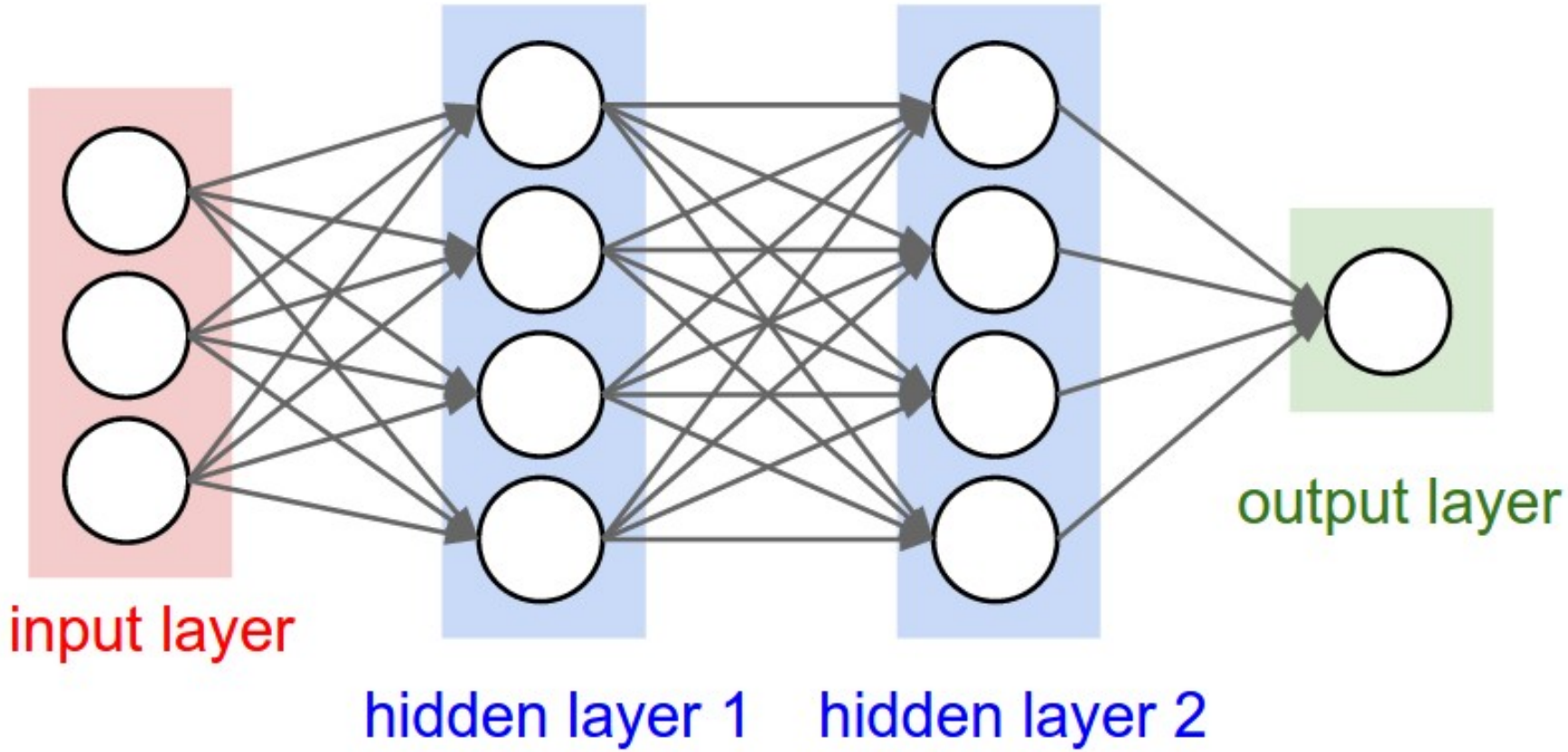
Definizione

Un livello è di tipo *Fully-Connected* quando i neuroni appartenenti a due livelli adiacenti sono completamente connessi tra loro mentre i neuroni associati ad un singolo livello non condividono nessuna connessione

- I pesi dei neuroni di un livello vengono salvati all'interno di matrici
- Le righe della matrice identificano i neuroni del livello mentre le colonne rappresentano i pesi di ciascun neurone
- La struttura a livelli di una rete neurale consente di facilitare le varie operazioni sfruttando il calcolo matriciale

Reti Neurali

Livello Fully-Connected



Una rete neurale a 3 livelli

Reti Neurali

Funzionamento

Il processo di apprendimento di una rete neurale è suddiviso in quattro fasi distinte

Reti Neurali

Funzionamento

Il processo di apprendimento di una rete neurale è suddiviso in quattro fasi distinte

- *Inizializzazione dei pesi*

Reti Neurali

Funzionamento

Il processo di apprendimento di una rete neurale è suddiviso in quattro fasi distinte

- *Inizializzazione dei pesi*
- *Forward Propagation*

Reti Neurali

Funzionamento

Il processo di apprendimento di una rete neurale è suddiviso in quattro fasi distinte

- *Inizializzazione dei pesi*
- *Forward Propagation*
- *Funzione di perdita*

Reti Neurali

Funzionamento

Il processo di apprendimento di una rete neurale è suddiviso in quattro fasi distinte

- *Inizializzazione dei pesi*
- *Forward Propagation*
- *Funzione di perdita*
- *Back Propagation*

Reti Neurali

Inizializzazione dei pesi

- Un neonato non riesce a distinguere i vari oggetti presenti nel mondo: la rete neurale biologica non ha ancora appreso nulla

Reti Neurali

Inizializzazione dei pesi

- Un neonato non riesce a distinguere i vari oggetti presenti nel mondo: la rete neurale biologica non ha ancora appreso nulla

- Per riprodurre questo comportamento, all'inizio della fase di training, i pesi sinaptici w_i di ciascun livello vengono inizializzati in maniera casuale

Reti Neurali

Forward Propagation

- L'output dei neuroni del livello i viene moltiplicato per la matrice dei pesi del livello $i + 1$ ottenendo un vettore v

Reti Neurali

Forward Propagation

- L'output dei neuroni del livello i viene moltiplicato per la matrice dei pesi del livello $i+1$ ottenendo un vettore v

- Al vettore v viene aggiunto il vettore contenente i bias del livello $i+1$

Reti Neurali

Forward Propagation

- L'output dei neuroni del livello i viene moltiplicato per la matrice dei pesi del livello $i+1$ ottenendo un vettore v
- Al vettore v viene aggiunto il vettore contenente i bias del livello $i+1$
- Ad ogni elemento del vettore v aggiornato viene applicata la funzione di attivazione f

Reti Neurali

Forward Propagation

- L'output dei neuroni del livello i viene moltiplicato per la matrice dei pesi del livello $i+1$ ottenendo un vettore v
- Al vettore v viene aggiunto il vettore contenente i bias del livello $i+1$
- Ad ogni elemento del vettore v aggiornato viene applicata la funzione di attivazione f
- Le operazioni precedenti vengono effettuate per ogni livello ad eccezione dell'ultimo

Reti Neurali

Back Propagation

- Lo scopo della back propagation consiste nel trovare, per ogni livello, i pesi w che minimizzino una funzione di perdita L

Reti Neurali

Rete Neurale Convoluzionale

Una *Rete Neurale Convoluzionale* si differenzia da una più classica in quanto assume che l'input della rete sia un'immagine

Implementazione della Rete

Analisi dei Risultati