

Intelligenza umana e intelligenza artificiale: le reti neurali

Percorso interdisciplinare

Matteo Brighi

Liceo Scientifico Tecnologico, 5^a A

ITIS Fermo Corni

Sede Via Leonardo da Vinci 300 41100 MODENA

Anno scolastico 2006 - 2007

Indice

1 Filosofia

- Intelligenza artificiale e mente umana
- Intelligenza artificiale 'forte' e intelligenza artificiale 'debole'

2 Biologia

- Il sistema nervoso
- Il funzionamento del cervello

3 Informatica

- Le reti neurali
- Il neurone artificiale
- L'architettura della rete
- Il processo d'apprendimento

4 Matematica

- I problemi di minimo
- Il metodo della discesa del gradiente

Indice

1 Filosofia

- Intelligenza artificiale e mente umana
- Intelligenza artificiale 'forte' e intelligenza artificiale 'debole'

2 Biologia

- Il sistema nervoso
- Il funzionamento del cervello

3 Informatica

- Le reti neurali
- Il neurone artificiale
- L'architettura della rete
- Il processo d'apprendimento

4 Matematica

- I problemi di minimo
- Il metodo della discesa del gradiente

IA e mente umana

Negli ultimi 50 anni vi è stata una grande diffusione degli elaboratori elettronici in tutti i campi dell'attività umana

Le macchine hanno sostituito la mente umana in molte attività
(es. le funzioni di calcolo, memorizzazione ed elaborazione dei dati)

Che relazione c'è tra la mente umana e l'intelligenza artificiale?

Fin dagli anni '30 i sistemi di elaborazione automatica delle informazioni hanno sempre cercato di "imitare" il funzionamento delle mente

IA e mente umana

Negli ultimi 50 anni vi è stata una grande diffusione degli elaboratori elettronici in tutti i campi dell'attività umana

Le macchine hanno sostituito la mente umana in molte attività
(es. le funzioni di calcolo, memorizzazione ed elaborazione dei dati)

Che relazione c'è tra la mente umana e l'intelligenza artificiale?

Fin dagli anni '30 i sistemi di elaborazione automatica delle informazioni hanno sempre cercato di "imitare" il funzionamento delle mente

IA e mente umana

Dal punto di vista filosofico, i neopositivisti, come già Hobbes, identificano il **pensiero umano con la capacità di calcolo**. La capacità della mente consiste nel collegare informazioni elementari in proposizioni più complesse per mezzo di operazioni logiche.

L'intelligenza artificiale, a partire dai lavori di Turing (1936), riproduce questo modello del funzionamento della mente umana.

Domande

L'intelligenza artificiale è in grado di replicare le funzioni della mente umana?

Come funziona la mente umana?

IA e mente umana

Dal punto di vista filosofico, i neopositivisti, come già Hobbes, identificano il **pensiero umano con la capacità di calcolo**. La capacità della mente consiste nel collegare informazioni elementari in proposizioni più complesse per mezzo di operazioni logiche.

L'intelligenza artificiale, a partire dai lavori di Turing (1936), riproduce questo modello del funzionamento della mente umana.

Domande

L'intelligenza artificiale è in grado di replicare le funzioni della mente umana?

Come funziona la mente umana?

IA forte e IA debole

Vi sono due principali correnti di pensiero su questi temi

Intelligenza artificiale forte (Alan Turing e Marvin Minsky)

Il computer può riprodurre il funzionamento della mente

Intelligenza artificiale debole (Hubert Drayfus e John Searle)

Il computer **non può** riprodurre il funzionamento della mente

La differenza riguarda la concezione del funzionamento della mente umana

Il test di Turing

La tesi dell'intelligenza artificiale forte si basa sull'idea che la mente sia un calcolatore: la mente memorizza le informazioni e poi le elabora sequenzialmente secondo una logica binaria

Perciò il funzionamento della mente può essere imitato dalle macchine

Turing (1936) propone un test per stabilire se un calcolatore è 'intelligente'.

Il test di Turing

Se un essere umano non è in grado di distinguere le prestazioni intellettuali di un uomo da quelle di una macchina, allora la macchina è intelligente

Il test di Turing

La tesi dell'intelligenza artificiale forte si basa sull'idea che la mente sia un calcolatore: la mente memorizza le informazioni e poi le elabora sequenzialmente secondo una logica binaria

Perciò il funzionamento della mente può essere imitato dalle macchine

Turing (1936) propone un test per stabilire se un calcolatore è 'intelligente'.

Il test di Turing

Se un essere umano non è in grado di distinguere le prestazioni intellettuali di un uomo da quelle di una macchina, allora la macchina è intelligente

IA debole

Per i sostenitori dell'**intelligenza artificiale debole** il computer non è in grado di emulare il funzionamento della mente.

Il computer, infatti, non è in grado di riconoscere il significato dei concetti che usa (perché il significato dipende dal contesto sociale e linguistico)

Come risposta al test di Turing, John Searle (1980) propone l'**esperimento della stanza cinese**.

L'esperimento evidenzia il fatto che le macchine **non** attribuiscono significato ai simboli che usano

IA debole

Per i sostenitori dell'**intelligenza artificiale debole** il computer non è in grado di emulare il funzionamento della mente.

Il computer, infatti, non è in grado di riconoscere il significato dei concetti che usa (perché il significato dipende dal contesto sociale e linguistico)

Come risposta al test di Turing, John Searle (1980) propone l'**esperimento della stanza cinese**.

L'esperimento evidenzia il fatto che le macchine **non** attribuiscono significato ai simboli che usano

L'esperimento della stanza cinese

Gli elementi dell'esperimento sono i seguenti:

- una stanza
- un individuo che non conosce il cinese, ad es. un italiano
- scatole di ideogrammi cinesi
- manuale in italiano di regole per associare ideogrammi ad altri ideogrammi cinesi
- regole basate sulla forma e non sul significato
- cinesi all'esterno che introducono nella stanza ideogrammi
- l'individuo dentro la stanza risponde applicando le regole di associazione

Le risposte fornite dalla persona dentro la stanza non sono distinguibili da quelle che darebbe un madrelingua

L'esperimento della stanza cinese

Gli elementi dell'esperimento sono i seguenti:

- una stanza
- un individuo che non conosce il cinese, ad es. un italiano
- scatole di ideogrammi cinesi
- manuale in italiano di regole per associare ideogrammi ad altri ideogrammi cinesi
- regole basate sulla forma e non sul significato
- cinesi all'esterno che introducono nella stanza ideogrammi
- l'individuo dentro la stanza risponde applicando le regole di associazione

Le risposte fornite dalla persona dentro la stanza non sono distinguibili da quelle che darebbe un madrelingua

IA forte e IA debole

La 'stanza' soddisfa il test di Turing (nel senso che dall'esterno non si è in grado di distinguere se nella stanza c'è un madrelingua cinese oppure un individuo che non conosce il cinese)

La persona dentro alla stanza associa correttamente i simboli, tuttavia non capisce nulla del loro significato

Allo stesso modo, il computer associa correttamente i simboli, ma non è in grado di dare loro un significato e questo impedisce ai computer di replicare il funzionamento della mente umana.

In conclusione, le macchine non sono in grado di imitare la mente perché

- hanno capacità sintattica
- ma non hanno capacità semantica

IA forte e IA debole

La 'stanza' soddisfa il test di Turing (nel senso che dall'esterno non si è in grado di distinguere se nella stanza c'è un madrelingua cinese oppure un individuo che non conosce il cinese)

La persona dentro alla stanza associa correttamente i simboli, tuttavia non capisce nulla del loro significato

Allo stesso modo, il computer associa correttamente i simboli, ma non è in grado di dare loro un significato e questo impedisce ai computer di replicare il funzionamento della mente umana.

In conclusione, le macchine non sono in grado di imitare la mente perché

- hanno capacità sintattica
- ma non hanno capacità semantica

IA forte e IA debole

Anche se il computer non potrà emulare i processi logici tipici della mente umana, resta il fatto che negli ultimi decenni l'informatica ha compiuto progressi notevoli.

L'aspetto più interessante è che tali progressi sono stati ottenuti riproducendo **la struttura e il funzionamento fisico del cervello umano**

Prima di passare alle *reti neurali* si richiamano i principi basilari del funzionamento del cervello

IA forte e IA debole

Anche se il computer non potrà emulare i processi logici tipici della mente umana, resta il fatto che negli ultimi decenni l'informatica ha compiuto progressi notevoli.

L'aspetto più interessante è che tali progressi sono stati ottenuti riproducendo **la struttura e il funzionamento fisico del cervello umano**

Prima di passare alle *reti neurali* si richiamano i principi basilari del funzionamento del cervello

Indice

1 Filosofia

- Intelligenza artificiale e mente umana
- Intelligenza artificiale 'forte' e intelligenza artificiale 'debole'

2 Biologia

- Il sistema nervoso
- Il funzionamento del cervello

3 Informatica

- Le reti neurali
- Il neurone artificiale
- L'architettura della rete
- Il processo d'apprendimento

4 Matematica

- I problemi di minimo
- Il metodo della discesa del gradiente

Il sistema nervoso

Il sistema nervoso è il sistema di elaborazione di dati piú complesso esistente sul nostro pianeta

Le funzioni svolte dal sistema nervoso sono le seguenti

- Acquisizione
- Integrazione
- Stimolo motorio

I neuroni

L'attività di integrazione ha sede nel cervello

Nel cervello vi sono due categorie di cellule:
i **neuroni** e le cellule di sostegno.

Gli impulsi giungono ai neuroni transitando su canali di collegamento.

I corpi cellulari che collegano i neuroni sono di due tipi,

- Assoni
- Dendriti

I neuroni

L'attività di integrazione ha sede nel cervello

Nel cervello vi sono due categorie di cellule:
i **neuroni** e le cellule di sostegno.

Gli impulsi giungono ai neuroni transitando su canali di collegamento.

I corpi cellulari che collegano i neuroni sono di due tipi,

- Assoni
- Dendriti

I neuroni

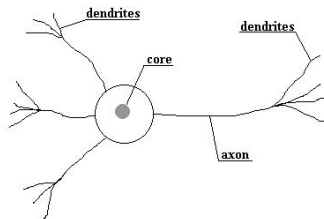


Figura: Cellula neuronale

Le terminazioni dei dendriti e degli assoni si chiamano **sinapsi**.

Sinapsi

I neuroni sono separati da un breve **spazio sinaptico**

La trasmissione del segnale dal **neurone pre-sinaptico** al **neurone post-sinaptico** avviene nel modo seguente

- vescicole di trasporto contenenti neurotrasmettitori
- arrivate alle sinapsi le vescicole liberano i neurotrasmettitori negli spazi sinaptici
- i ricettori del neurone post-sinaptico catturano e neurotrasmettitori
- dai neurotrasmettitori catturati escono degli ioni
- gli ioni contengono l'informazione vera e propria e sono incanalati nel neurone post-sinaptico tramite i canali ionici.

Sinapsi

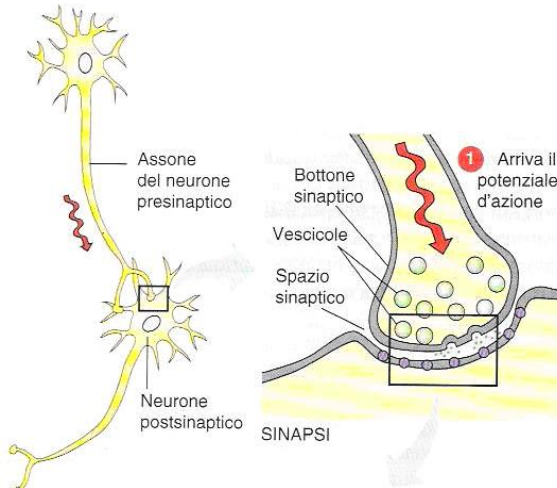


Figura Sinapsi

Le connessioni sinaptiche

- Le capacità cognitive del cervello sono determinante principalmente **dalla struttura e dalla forza delle connessioni sinaptiche**
- La configurazione delle connessioni sinaptiche è varia e si **adatta agli stimoli dell'ambiente esterno**

Questi ed altri elementi delle reti neurali biologiche si ritrovano anche nelle reti neurali artificiali

Indice

1 Filosofia

- Intelligenza artificiale e mente umana
- Intelligenza artificiale 'forte' e intelligenza artificiale 'debole'

2 Biologia

- Il sistema nervoso
- Il funzionamento del cervello

3 Informatica

- Le reti neurali
- Il neurone artificiale
- L'architettura della rete
- Il processo d'apprendimento

4 Matematica

- I problemi di minimo
- Il metodo della discesa del gradiente

Le reti neurali

Una rete neurale è un tipo di “intelligenza artificiale” basato su alcune similitudini formali con la struttura del cervello degli esseri viventi.

Caratteristiche

- Numerosità. Vi sono numerose unità di elaborazione
- Parallelismo. Le unità funzionano in parallelo e non in sequenza
- Interconnessione. Le unità sono connesse tra di loro e formano una rete
- Adattamento. In relazione agli stimoli esterni le connessioni si attivano o vengono inibite

Le reti neurali

Le reti neurali sono

- in grado di rilevare tendenze e regolarità,
- in grado di riconoscere configurazioni (o patterns) ricorrenti
- resistenti al 'rumore', possono operare con informazioni imprecise o parziali

Queste caratteristiche consentono all reti di

- riconoscere voci e suoni
- leggere la scrittura manuale
- prevedere l'andamento dei mercati
- individuare giacimenti di risorse naturali
- ... e molto altro

Le reti neurali

Le reti neurali sono

- in grado di rilevare tendenze e regolarità,
- in grado di riconoscere configurazioni (o patterns) ricorrenti
- resistenti al 'rumore', possono operare con informazioni imprecise o parziali

Queste caratteristiche consentono alle reti di

- riconoscere voci e suoni
- leggere la scrittura manuale
- prevedere l'andamento dei mercati
- individuare giacimenti di risorse naturali
- ... e molto altro

Le tipologie di reti neurali

I principali tipi di reti neurali sono

- memorie associative
- simulatori di funzioni matematiche non note
- classificatori

Memorie associative

- Le memorie associative apprendono associazioni tra **patterns**.
La rete impara ad associare il **pattern A** in input al **pattern B** in output, mediante l'impiego di un certo numero di esempi corretti.
es. lettere minuscole e maiuscole
- L'associazione avviene correttamente anche quando i dati in input del pattern A sono imprecisi o solo parziali

Altro esempio di memoria associativa è un rilevatore di genere
(riconosce il genere dalla foto ...)

Memorie associative

- Le memorie associative apprendono associazioni tra **patterns**.
La rete impara ad associare il **pattern A** in input al **pattern B** in output, mediante l'impiego di un certo numero di esempi corretti.
es. lettere minuscole e maiuscole
- L'associazione avviene correttamente anche quando i dati in input del pattern A sono imprecisi o solo parziali

Altro esempio di memoria associativa è un rilevatore di genere (riconosce il genere dalla foto ...)

Simulatori di funzioni

- Vi sono fenomeni naturali e sociali che non possono essere descritti mediante una legge matematica. I simulatori di funzioni sono in grado di calcolare tutti i valori di una funzione non definita esplicitamente da una legge matematica
- Il simulatore apprende la relazione che lega input ed output a partire da una serie di esempi (inseriti in fase di apprendimento)
- Alla fine del processo di apprendimento il simulatore è in grado di estrapolare i valori della funzione sconosciuta. Una volta addestrata, la rete è in grado di generalizzare quanto ha appreso

Si noti che il simulatore non ricava la definizione formale della funzione (potrebbe non esistere una legge matematica)

Simulatori di funzioni

- Vi sono fenomeni naturali e sociali che non possono essere descritti mediante una legge matematica. I simulatori di funzioni sono in grado di calcolare tutti i valori di una funzione non definita esplicitamente da una legge matematica
- Il simulatore apprende la relazione che lega input ed output a partire da una serie di esempi (inseriti in fase di apprendimento)
- Alla fine del processo di apprendimento il simulatore è in grado di estrapolare i valori della funzione sconosciuta. Una volta addestrata, la rete è in grado di generalizzare quanto ha appreso

Si noti che il simulatore non ricava la definizione formale della funzione (potrebbe non esistere una legge matematica)

Classificatori

I classificatori sono programmi che **raggruppano insieme di dati in categorie**, sulla base di caratteristiche di similarità

La peculiarità è che **le categorie di classificazione non sono predefinite**

Le categorie sono determinate autonomamente dalla rete neurale sulla base delle caratteristiche dei dati, cioè i classificatori sono **reti autorganizzanti e non supervisionate**

Classificatori

I classificatori sono programmi che **raggruppano insieme di dati in categorie**, sulla base di caratteristiche di similarità

La peculiarità è che **le categorie di classificazione non sono predefinite**

Le categorie sono determinate autonomamente dalla rete neurale sulla base delle caratteristiche dei dati, cioè i classificatori sono **reti autorganizzanti e non supervisionate**

Classificatori

I classificatori sono programmi che **raggruppano insieme di dati in categorie**, sulla base di caratteristiche di similarità

La peculiarità è che **le categorie di classificazione non sono predefinite**

Le categorie sono determinate autonomamente dalla rete neurale sulla base delle caratteristiche dei dati, cioè i classificatori sono **reti autorganizzanti e non supervisionate**

Le reti neurali

In conclusione, l'utilizzo delle reti neurali è particolarmente indicato nei casi in cui

- non esiste un modello esplicito del fenomeno, o del problema che si intende affrontare,
- si dispone di una serie di dati dai quali la rete neurale può autonomamente apprendere

Una rete neurale è costituita da unità di base dette **neuroni artificiali** e connessioni dette **sinapsi**

Di seguito vedremo in dettaglio

- il funzionamento dei neuroni artificiali
- l'architettura, cioè la struttura delle connessioni
- il meccanismo di apprendimento

Le reti neurali

In conclusione, l'utilizzo delle reti neurali è particolarmente indicato nei casi in cui

- non esiste un modello esplicito del fenomeno, o del problema che si intende affrontare,
- si dispone di una serie di dati dai quali la rete neurale può autonomamente apprendere

Una rete neurale è costituita da unità di base dette **neuroni artificiali** e connessioni dette **sinapsi**

Di seguito vedremo in dettaglio

- il funzionamento dei neuroni artificiali
- l'architettura, cioè la struttura delle connessioni
- il meccanismo di apprendimento

Neurone artificiale

- I neuroni artificiali sono collegati tra loro tramite delle connessioni
- Nel caso piú semplice, un neurone si **attiva** (cioè invia un impulso ad altri neuroni) se il segnale che esso riceve è sufficientemente potente

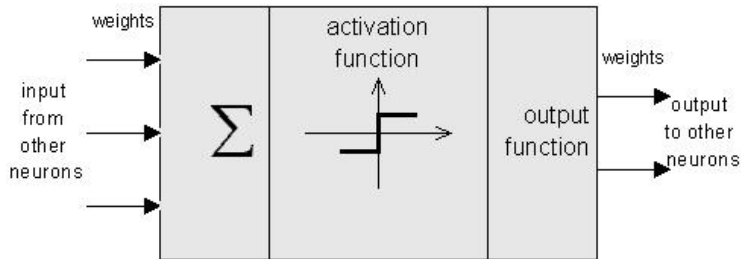


Figura: Neurone artificiale

Neurone artificiale

- L'intensità dei segnali in ingresso è determinata dal numero e dalla forza delle connessioni che il neurone ha con gli altri neuroni
- Ad ogni connessione è associato un peso
 - x_i è il segnale in uscita dal neurone i
 - w_i è il peso della connessione con il neurone i
 -

$$I = w_1x_1 + \dots + w_nx_n = \sum_{i=1}^n w_ix_i$$

è il **segnale pesato totale** proveniente da tutti i neuroni connessi, n

Funzione di trasferimento

L'impulso in ingresso viene inviato in uscita in base ad una **funzione di trasferimento**

$$y = T(I)$$

dove y è il segnale in uscita e I quello in entrata

La funzione di trasferimento $T(\cdot)$ può avere varie forme

- a scalino – se il segnale in ingresso non supera una certa soglia, la connessione in uscita viene disattivata
- a forma di sigmoide (vedi figura)

$$y = \frac{1}{1 - e^{-I}}$$

● ...

Funzione di trasferimento

L'impulso in ingresso viene inviato in uscita in base ad una **funzione di trasferimento**

$$y = T(I)$$

dove y è il segnale in uscita e I quello in entrata

La funzione di trasferimento $T(\cdot)$ può avere varie forme

- a scalino – se il segnale in ingresso non supera una certa soglia, la connessione in uscita viene disattivata
- a forma di sigmoide (vedi figura)

$$y = \frac{1}{1 - e^{-I}}$$

• ...

Funzione di trasferimento

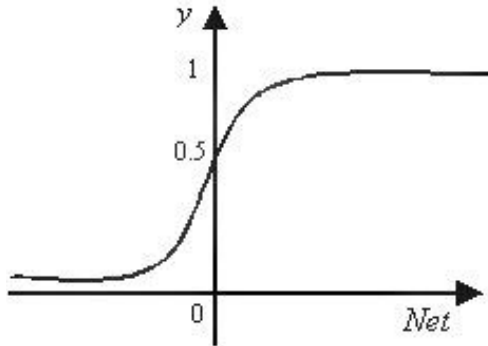


Figura: Sigmoide

Architettura

Le reti neurali sono normalmente organizzate in 3 strati o livelli (layers) di neuroni posti in sequenza

- strato di input - come gli organi sensoriali
- strato intermedio o nascosto (hidden layer)
- strato di output

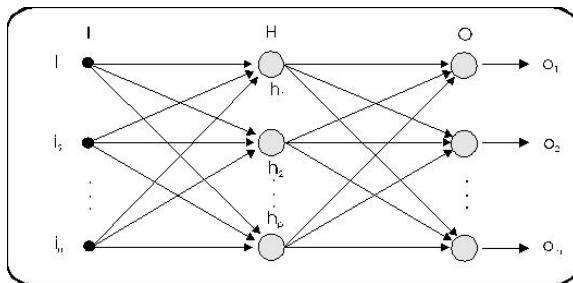


Figura: Architettura della rete neurale

Architettura

Le caratteristiche principali dell'architettura sono

- i neuroni presenti in uno strato non sono in connessione tra loro
- tutti i neuroni di uno strato sono in connessione con quelli dello strato successivo
- ad ogni connessione è associato un peso che indica la forza della connessione tra i neuroni collegati
- il flusso di attivazione/inibizione è unidirezionale (reti più semplici)

Apprendimento

Il principale processo di apprendimento è quello **supervisionato**

L'apprendimento consiste nella **modificazione dei pesi delle connessioni neurali** e avviene nel modo seguente

- si parte da un **insieme di esempi di addestramento**
- si fissano i pesi delle connessioni
- si propaga il segnale in ingresso
- la rete restituisce un segnale in uscita

Apprendimento

Il principale processo di apprendimento è quello **supervisionato**

L'**apprendimento** consiste nella **modificazione dei pesi delle connessioni neurali** e avviene nel modo seguente

- si parte da un **insieme di esempi di addestramento**
- si fissano i pesi delle connessioni
- si propaga il segnale in ingresso
- la rete restituisce un segnale in uscita

Apprendimento

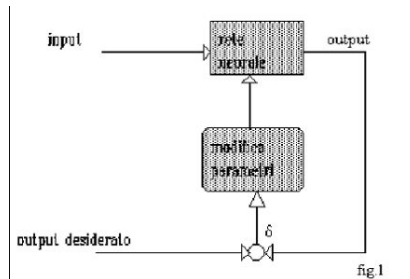


Figura: Processo di apprendimento

- il segnale in uscita viene confrontato con il segnale desiderato
- la rete modifica i pesi in modo da ridurre la discrepanza tra segnale effettivo e segnale desiderato

Apprendimento

- Il procedimento di apprendimento viene ripetuto per ciascun esempio dell'insieme di addestramento
- Terminate le iterazioni la rete è addestrata ad elaborare altre informazioni
- Dal punto di vista matematico il procedimento di apprendimento della rete neurale corrisponde alla soluzione di un problema di minimo

Indice

1 Filosofia

- Intelligenza artificiale e mente umana
- Intelligenza artificiale 'forte' e intelligenza artificiale 'debole'

2 Biologia

- Il sistema nervoso
- Il funzionamento del cervello

3 Informatica

- Le reti neurali
- Il neurone artificiale
- L'architettura della rete
- Il processo d'apprendimento

4 Matematica

- I problemi di minimo
- Il metodo della discesa del gradiente

I problemi di minimo

Sia $L: D \rightarrow \mathbb{R}$ una funzione con $D \subseteq \mathbb{R}$

Minimo globale

$w_0 \in D$ è un minimo **globale** per L se $L(w) \geq L(w_0)$ per ogni $w \in D$.

Minimo locale

$w_0 \in D$ è un minimo **locale** per L se esiste un intorno aperto $I(w_0) = (w_0 - \delta, w_0 + \delta)$ tale che $L(w) \geq L(w_0)$ per ogni $w \in I(w_0)$.

I problemi di minimo

Sia $L: D \rightarrow \mathbb{R}$ una funzione con $D \subseteq \mathbb{R}$

Minimo globale

$w_0 \in D$ è un minimo **globale** per L se $L(w) \geq L(w_0)$ per ogni $w \in D$.

Minimo locale

$w_0 \in D$ è un minimo **locale** per L se esiste un intorno aperto $I(w_0) = (w_0 - \delta, w_0 + \delta)$ tale che $L(w) \geq L(w_0)$ per ogni $w \in I(w_0)$.

Applicazione

Si torni al problema di apprendimento.

Ad esempio, si prenda per semplicità il caso di una singola connessione:

(2 neuroni) e un unico peso w

Al termine della prima iterazione l'errore, cioè la differenza al quadrato tra output effettivo e output desiderato, è una funzione che dipende dal valore iniziale del peso: $L(w)$

L'apprendimento della rete neurale consiste nel modificare il peso w in modo da rendere minimo l'errore, $L(w)$

Applicazione

Si torni al problema di apprendimento.

Ad esempio, si prenda per semplicità il caso di una singola connessione:

(2 neuroni) e un unico peso w

Al termine della prima iterazione l'**errore**, cioè la differenza al quadrato tra output effettivo e output desiderato, è una funzione che dipende dal valore iniziale del peso: $L(w)$

L'apprendimento della rete neurale consiste nel modificare il peso w in modo da rendere minimo l'errore, $L(w)$

Applicazione

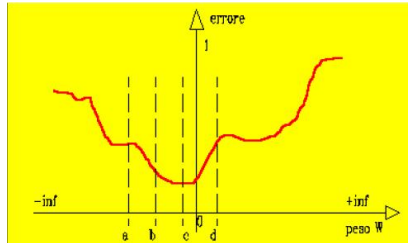


Figura: Errore in funzione del peso

Nell'esempio grafico al peso viene assegnato il valore di C

Nelle reti neurali il problema di apprendimento è più complesso perché riguarda più pesi simultaneamente

Ricerca dei minimi

Nel caso in cui la funzione L sia derivabile si possono ricavare **condizioni necessarie** e **condizioni sufficienti** per un minimo

Condizione necessaria del primo ordine

Se w_0 è un punto di minimo, la derivata prima si annulla, cioè

$$\frac{dL(w_0)}{dw} = 0$$

Ricerca dei minimi

Condizioni sufficienti

Se in w_0 valgono le due condizioni

$$\frac{dL(w_0)}{dw} = 0$$

e

$$\frac{d^2L(w_0)}{dw^2} > 0,$$

allora w_0 è un minimo.

Il metodo della discesa del gradiente

Il metodo della **discesa del gradiente** è un algoritmo per trovare la **soluzione numerica** di un problema di minimo. (La derivata prima indica l'andamento locale della funzione)

Procedimento

- si fissa da un valore iniziale w_0
- si calcola la derivata prima della funzione in quel punto, $L'(w_0)$
- si varia il valore di w in base alla seguente regola

$$\Delta w = -\alpha L'(w_0)$$

dove $\alpha > 0$ indica la velocità di aggiustamento. Quindi, se

- $L'(w_0) < 0$ si aumenta w
- $L'(w_0) > 0$ si riduce w

Il metodo della discesa del gradiente

Il metodo della **discesa del gradiente** è un algoritmo per trovare la **soluzione numerica** di un problema di minimo. (La derivata prima indica l'andamento locale della funzione)

Procedimento

- si fissa da un valore iniziale w_0
- si calcola la derivata prima della funzione in quel punto, $L'(w_0)$
- si varia il valore di w in base alla seguente regola

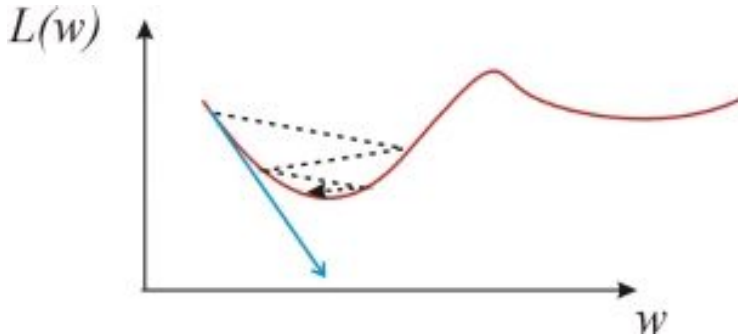
$$\Delta w = -\alpha L'(w_0)$$

dove $\alpha > 0$ indica la velocità di aggiustamento. Quindi, se

- $L'(w_0) < 0$ si aumenta w
- $L'(w_0) > 0$ si riduce w

Il metodo della discesa del gradiente

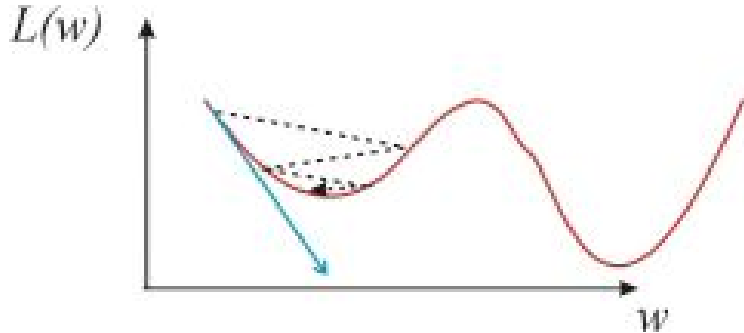
Si itera il procedimento fino al raggiungimento di un valore della derivata prima prossimo a zero



Il metodo della discesa del gradiente

Inconveniente:

l'algoritmo non garantisce che la soluzione sia un minimo globale



Bibliografia I



Campbell N., Mitchell L. e Reece J.
Immagini della Biologia C .
2000.



Dodero, N., P. Barboncini e R. Manfredi (1988),
I nuovi elementi della matematica C .
1988.



Marchese L. Reti neurali su personal computer,
in *www.programmazione.it*, (2006)



Artificial neural networks,
in *www.psych.utoronto.ca*
1988.