

L'APPRENDIMENTO AUTOMATICO

MACHINE LEARNING

Alessandro Sperduti
Fabio Aioli

<http://www.math.unipd.it/~sperduti/ml.html>

Orario

Lunedì, Martedì, Giovedì

dalle 15:30 alle 17:30

Aula IBC50, Torre Archimede

Lezioni del Giovedì (a partire dal 13 Ottobre)

tenute da:

Fabio Aiolli (lezioni in aula e in laboratorio PO36)

Esame: orale

possibilità di compitini, se lo desiderate

Introduzione



Principali paradigmi di apprendimento



Ingredienti fondamentali



Errore Empirico ed Errore Ideale



Alcuni Modelli di Apprendimento

Quando è necessario l'Apprendimento Automatico ?

quando il sistema deve

- **adattarsi** all'ambiente in cui opera
(anche personalizzazione automatica)
- **migliorare** le sue prestazioni rispetto ad un particolare compito
- **scoprire** regolarità e nuova informazione (conoscenza) a partire da dati empirici
- **acquisire** nuove capacità computazionali

Perché non usare un approccio algoritmico tradizionale ?

- impossibile formalizzare esattamente il problema (e quindi dare una soluzione algoritmica)
- presenza di rumore e/o incertezza
- complessità alta nel formulare una soluzione: impossibile "fare a mano"
- mancanza di conoscenza "compilata" rispetto al problema da risolvere

Che cifre sono rappresentate in questa immagine?

7	2	1	0	4	1	4	9	5	9
0	6	9	0	1	5	9	7	3	4
9	6	6	5	4	0	7	4	0	1
3	1	3	4	7	2	7	1	2	1
1	7	4	2	3	5	1	2	4	4



Patient103 time=1



Patient103 time=2



Patient103 time=n

Age: 23
FirstPregnancy: no
Anemia: no
Diabetes: no
PreviousPrematureBirth: no
Ultrasound: ?
Elective C-Section: ?
Emergency C-Section: ?
...

Age: 23
FirstPregnancy: no
Anemia: no
Diabetes: YES
PreviousPrematureBirth: no
Ultrasound: abnormal
Elective C-Section: no
Emergency C-Section: ?
...

Age: 23
FirstPregnancy: no
Anemia: no
Diabetes: no
PreviousPrematureBirth: no
Ultrasound: ?
Elective C-Section: no
Emergency C-Section: **Yes**
...



Rule 1:	<i>If</i> Income (w_j) is <i>Very High</i> (VH) <i>then</i> the sensitivity to price (quality) parameter s_{pj} (s_q) is <i>Very Insensitive</i> (VI) (<i>Very Sensitive</i> (VS)).
Rule 2:	<i>If</i> Income (w_j) is <i>High</i> (HG) <i>then</i> the sensitivity to price (quality) parameter s_{pj} (s_q) is <i>Insensitive</i> (IS) (<i>Sensitive</i> (ST)).
Rule 3:	<i>If</i> Income (w_j) is <i>Medium</i> (MD) <i>then</i> the sensitivity to price (quality) parameter s_{pj} (s_q) is <i>Medium Sensitive</i> (MS).
Rule 4:	<i>If</i> Income (w_j) is <i>Low</i> (LW) <i>then</i> the sensitivity to price (quality) parameter s_{pj} (s_q) is <i>Sensitive</i> (<i>Insensitive</i> (IS)).
Rule 5:	<i>If</i> Income (w_j) is <i>Very Low</i> (VL) <i>then</i> the sensitivity to price (quality) parameter s_{pj} (s_q) is <i>Very Sensitive</i> (<i>Very Insensitive</i> (VS)).

Patient

Age: 23
FirstPre
Anemia
Diabete
Previous
Ultraso
Elective
Emerge
...

Ruolo dei dati

Tipicamente

- si hanno a disposizione (molti ?) **dati**
 - ottenuti una volta per per tutte **batch learning**
 - acquisibili interagendo direttamente con l'ambiente **on-line learning**
- (forse) **conoscenza** del dominio applicativo, ma
 - incompleta
 - imprecisa (rumore, ambiguità, incertezza, errori, ...)

Desiderio: usare i dati per

- ottenere **nuova conoscenza**
- **raffinare** la conoscenza di cui si dispone
- **correggere** la conoscenza di cui si dispone

Principali Paradigmi di Apprendimento

Un paradigma specifica

- quali dati sono disponibili per l'apprendimento
- con che modalità il sistema riceve i dati
- che tipo di output ci si aspetta dal sistema

Supervised Learning

Unsupervised Learning

Reinforcement Learning

Supervised Learning (apprendimento supervisionato)

$\{(x_i, f(x_i))\}$

- dato un insieme di dati preclassificati (esempi di apprendimento) apprendere una descrizione generale che incapsula l'informazione contenuta negli esempi
- tale descrizione deve poter essere usata in modo predittivo
dato un nuovo ingresso $\tilde{x}$, predire $f(\tilde{x})$
- si assume che un esperto (o maestro) ci fornisca la supervisione
i valori $f(x_i)$



Face recognition technologies



AT&T

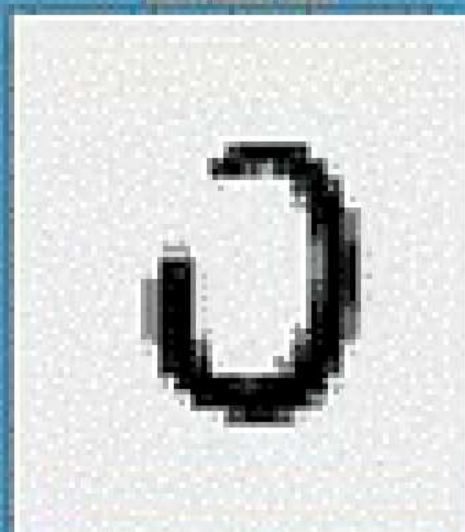
LeNet 5

RESEARCH

answer: 0

0

103

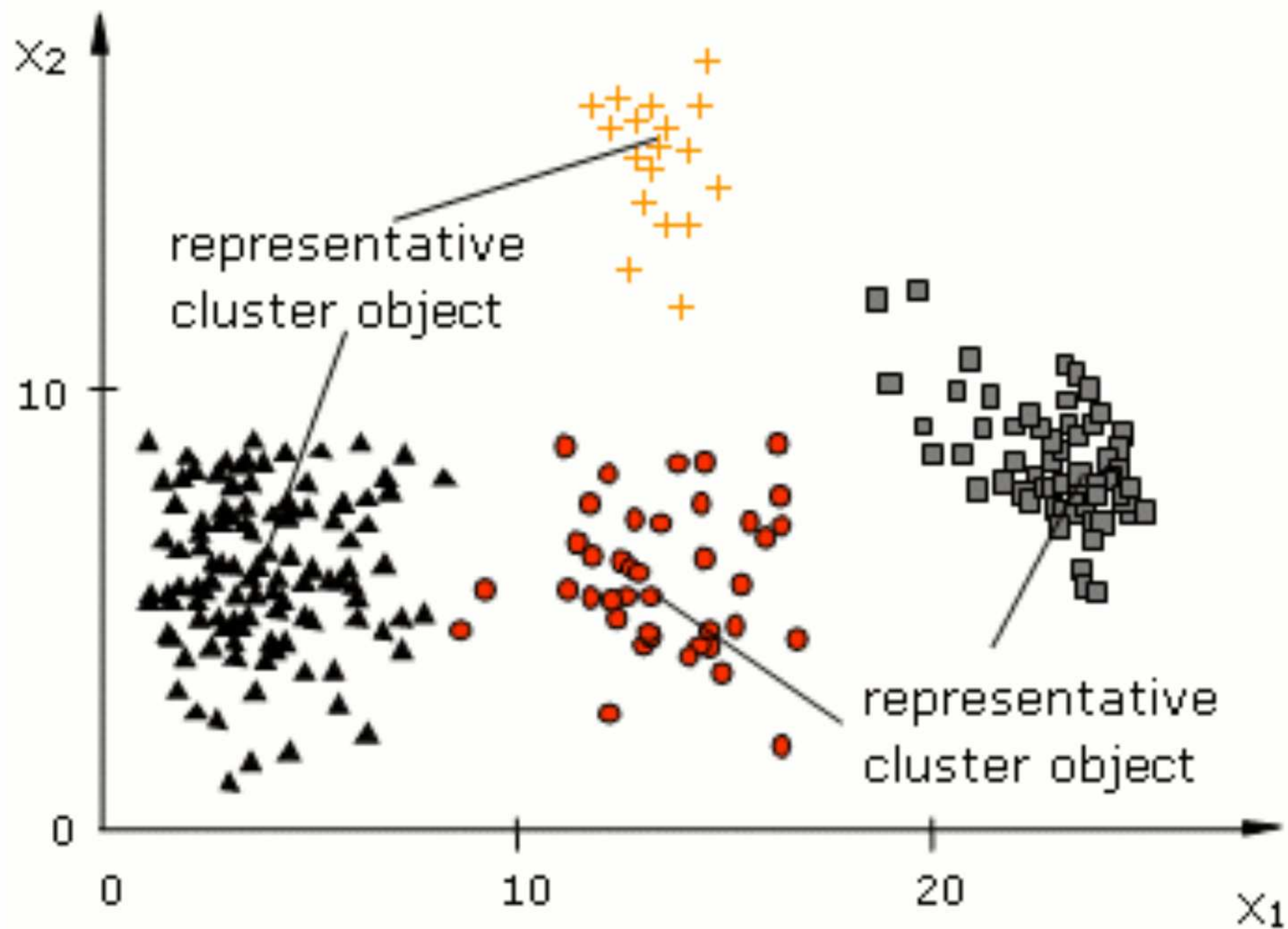


- si assume che un esperto (o maestro) ci fornisca supervisione i valori $f(x_i)$

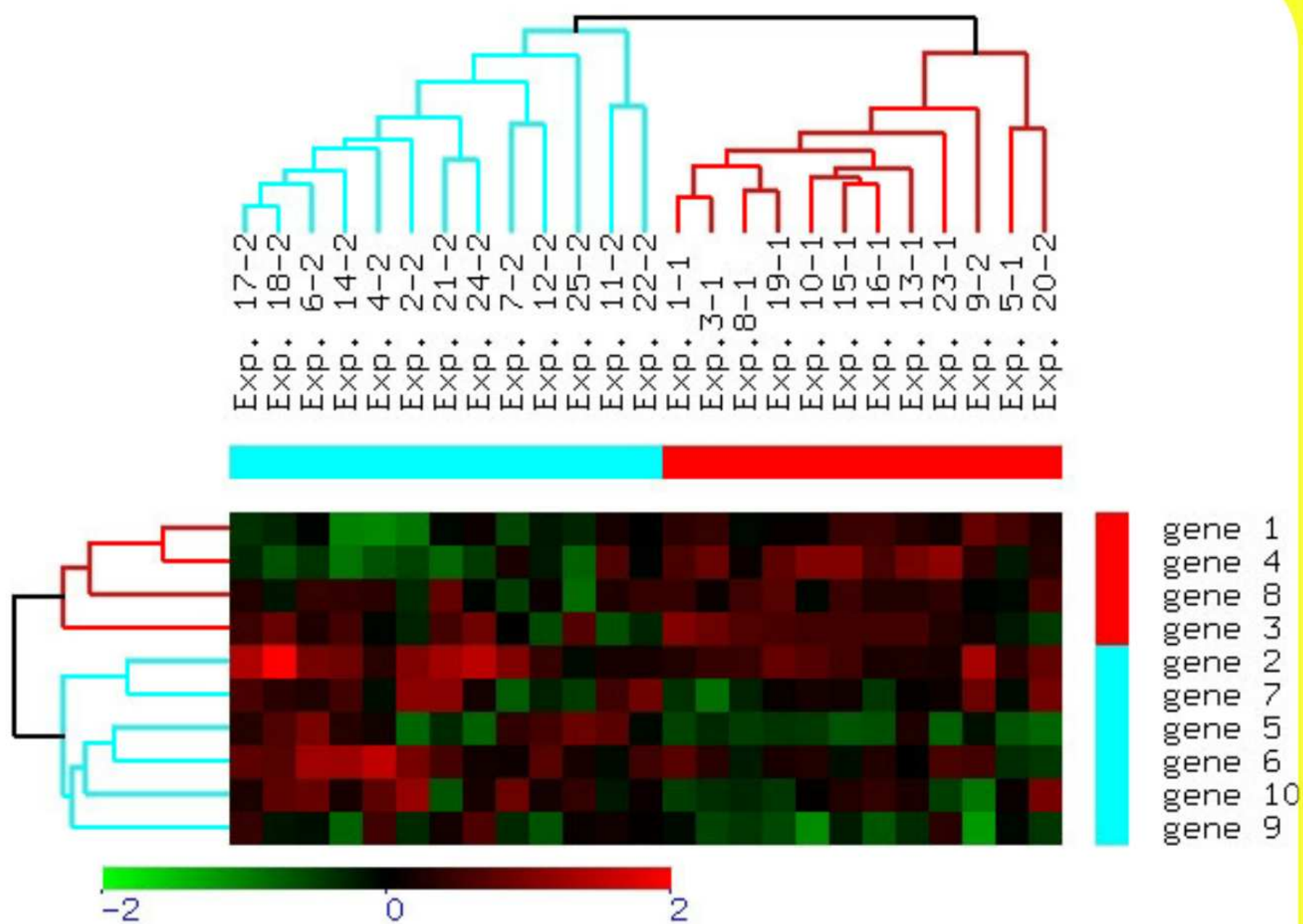
Unsupervised Learning (apprendimento non-supervisionato)

- dato un insieme di dati $\{x_i\}$, estrarre regolarità e/o pattern valide su tutto il dominio di ingresso
- non esiste un maestro che ci fornisca un aiuto

Learning (apprendimento con rinforzo)
PRIMO A LEZIONE



number of clusters: 4



Reinforcement Learning (apprendimento con rinforzo)

NON LO VEDREMO A LEZIONE

Sono dati



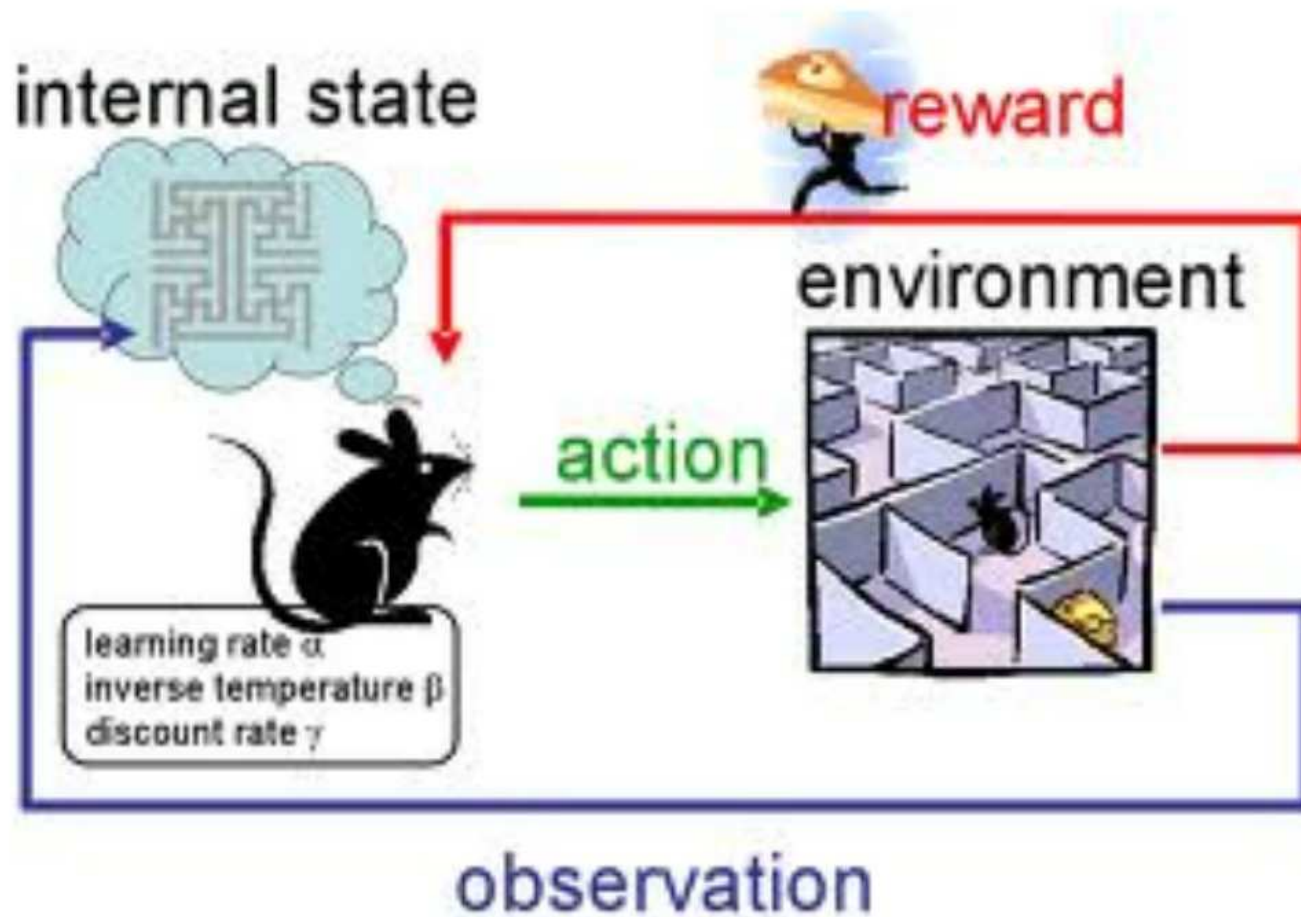
- un agente (intelligente?), che può
 - trovarsi in uno stato s
 - eseguire una azione a (all'interno delle azioni possibili nello stato corrente)
- un ambiente tale che quando l'agente applica una azione a nello stato s restituisce
 - lo stato successivo
 - una ricompensa r , che può essere positiva (+), negativa (-), o neutra (0)

Scopo dell'agente è quello di
massimizzare la ricompensa

$$\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_{t+1} \text{ dove } 0 \leq \gamma < 1)$$



scelta della strategia ottima



Ingredienti Fondamentali Apprendimento

Dati

(spazio delle istanze)

Spazio delle Ipotesi H

- costituisce l'insieme delle funzioni che possono essere realizzate dal sistema di apprendimento
- si assume che la funzione da apprendere f possa essere rappresentata da una ipotesi

$h \in H$

(selezione di h attraverso i dati di apprendimento)

- o che almeno una ipotesi h sia simile a f
(approssimazione)

Algoritmo di ricerca
nello spazio delle Ipotesi
(algoritmo di apprendimento)

h "ottima"

ipotesi restituita
dall'apprendimento

ATTENZIONE!!

lo spazio delle ipotesi H non può coincidere con l'insieme di tutte le funzioni possibili e la ricerca essere esaustiva



essere esaustiva



Apprendimento Inutile !!

Bias Induttivo

Bias Induttivo

- sulla rappresentazione (H)
- sulla ricerca (alg. apprendimento)

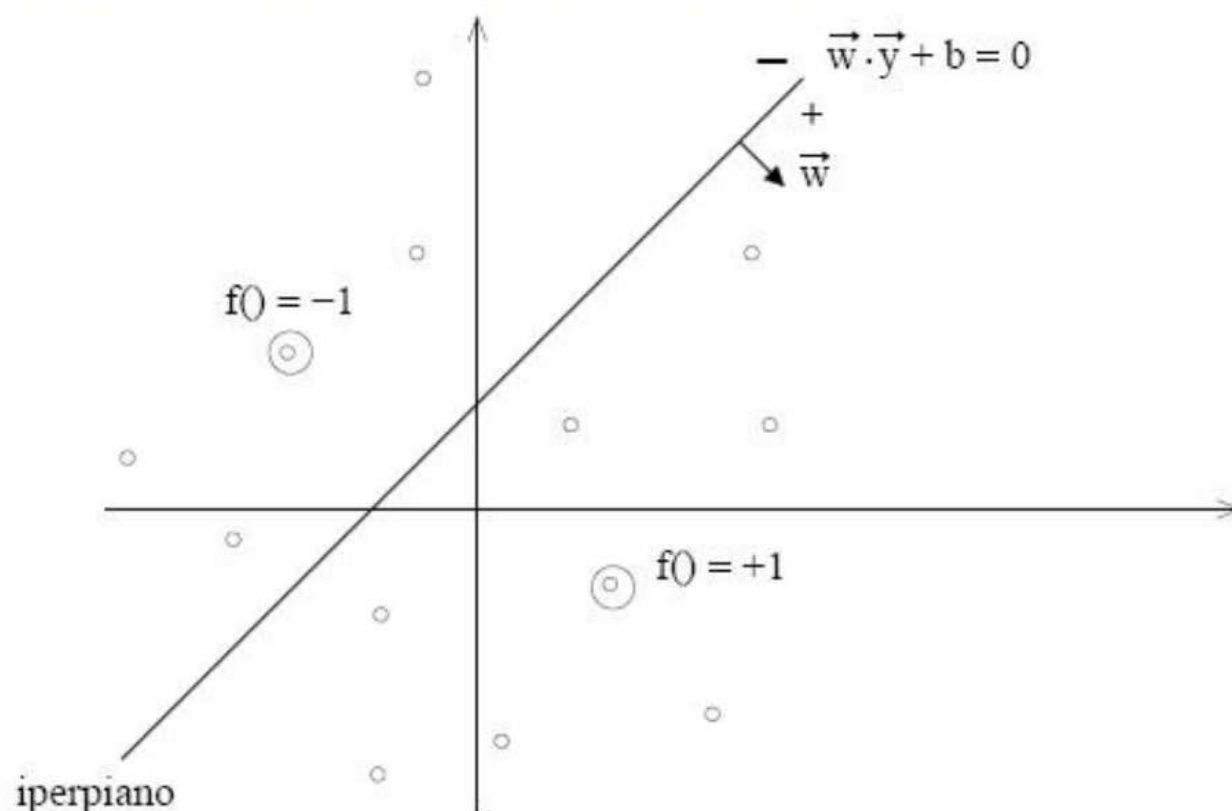
Spazio delle Ipotesi: Esempio 1

Iperpiani in $\mathbb{R}^2$

- Spazio delle Istanze $\rightarrow$ punti nel piano: $X = \{\vec{y} \in \mathbb{R}^2\}$

- Spazio delle Ipotesi $\rightarrow$ dicotomie indotte da iperpiani in $\mathbb{R}^2$:

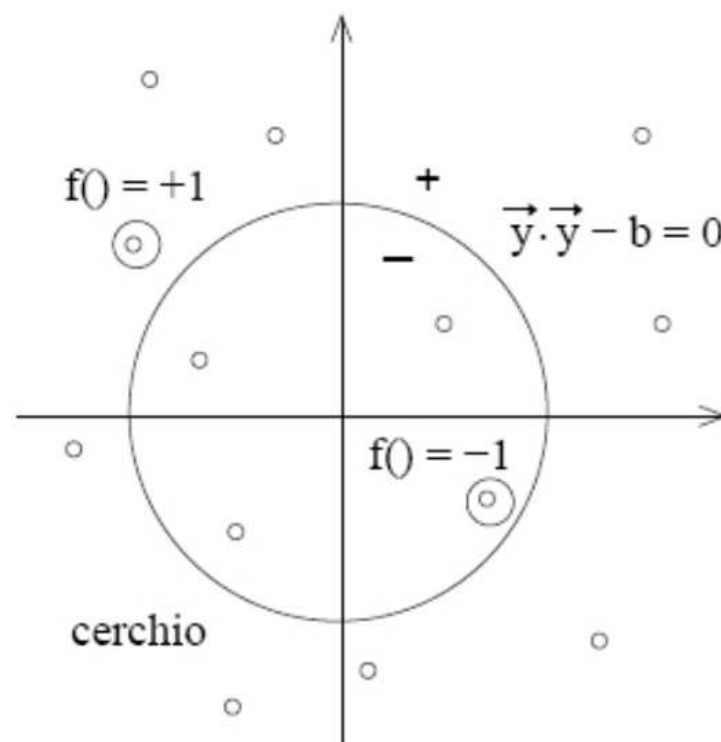
$$\mathcal{H} = \{f_{(\vec{w}, b)}(\vec{y}) \mid f_{(\vec{w}, b)}(\vec{y}) = \text{sign}(\vec{w} \cdot \vec{y} + b), \vec{w} \in \mathbb{R}^2, b \in \mathbb{R}\}$$



Spazio delle Ipotesi: Esempio 2

Dischi in $\mathbb{R}^2$

- Spazio delle Istanze $\rightarrow$ punti nel piano: $X = \{\vec{y} \in \mathbb{R}^2\}$
- Spazio delle Ipotesi $\rightarrow$ dicotomie indotte da dischi in $\mathbb{R}^2$ centrati nell'origine:
 $\mathcal{H} = \{f_b(\vec{y}) \mid f_b(\vec{y}) = \text{sign}(\vec{y} \cdot \vec{y} - b), b \in \mathbb{R}\}$



Spazio delle Ipotesi: Esempio 3

Congiunzione di m letterali positivi

- Spazio delle Istanze $\rightarrow$ stringhe di m bit: $X = \{s | s \in \{0, 1\}^m\}$
- Spazio delle Ipotesi $\rightarrow$ tutte le sentenze logiche che riguardano i letterali positivi $l_1, \dots, l_m$ (l_1 è vero se il primo bit vale 1, l_2 è vero se il secondo bit vale 1, etc.) e che contengono solo l'operatore $\wedge$ (**and**):

$$\mathcal{H} = \{f_{\{i_1, \dots, i_j\}}(s) | f_{\{i_1, \dots, i_j\}}(s) \equiv l_{i_1} \wedge l_{i_2} \wedge \dots \wedge l_{i_j}, \{i_1, \dots, i_j\} \subseteq \{1, \dots, m\}\}$$

Es. $m = 3, X = \{0, 1\}^3$

Esempi di istanze $\rightarrow s1 = 101, s2 = 001, s3 = 100, s4 = 111$

Esempi di ipotesi $\rightarrow h_1 \equiv l_2, h_2 \equiv l_1 \wedge l_2, h_3 \equiv true, h_4 \equiv l_1 \wedge l_3, h_5 \equiv l_1 \wedge l_2 \wedge l_3$

Notare che: h_1, h_2 , e h_5 sono false per $s1, s2$ e $s3$ e vere per $s4$; h_3 è vera per ogni istanza; h_4 è vera per $s1$ e $s4$ ma falsa per $s2$ e $s3$