

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

A uso didattico interno

Introduzione all'Intelligenza Artificiale

Federico Chesani

Dipartimento di Informatica - Scienza e
Ingegneria (DISI)
Università di Bologna

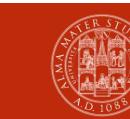
Ho visto cose....(ambientato nel 2019).



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Breve sommario della lezione

- **Definizione, storia e principali approcci all'IA**
- Applicazioni dell'IA
- Problemi etici e sociali
- Conclusioni



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Intelligenza Artificiale: Vecchia quanto il mondo!

... anche se formalmente nata nel 1956. (Minsky, McCarthy, Shannon, Newell, Simon).

"The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it." [McCarthy 1955].

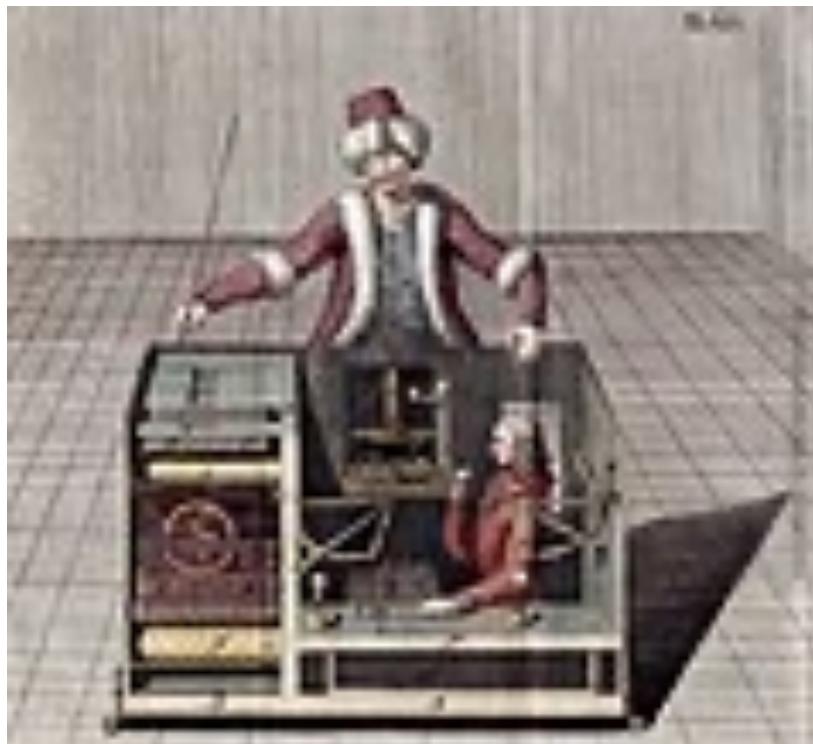
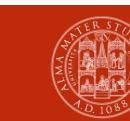


Image credit: wikipedia



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Cartesio (Discorso sul metodo - 1637)

“Qui in particolare mi ero fermato per far vedere che se ci fossero macchine con organi e forma di scimmia o di qualche altro animale privo di ragione, non avremmo nessun mezzo per accorgerci che non sono in tutto uguali a questi animali; mentre se ce ne fossero di somiglianti ai nostri corpi e capaci di imitare le nostre azioni per quanto di fatto possibile, ci resterebbero sempre due mezzi sicurissimi per riconoscere che, non per questo, sono uomini veri. In primo luogo, non potrebbero mai usare parole o altri segni combinandoli come facciamo noi per comunicare agli altri i nostri pensieri. Perché pur nel concepire che una macchina sia fatta in modo tale da proferire parole, e ne proferisca anzi in relazione a movimenti corporei che provochino qualche cambiamento nei suoi organi; che chieda, ad esempio, che cosa si vuole da lei se la si tocca in qualche punto, o se si tocca in un altro gridi che le si fa male e così via; ma non si può immaginare che possa combinarle in modi diversi per rispondere al senso di tutto quel che si dice in sua presenza, come possono fare gli uomini, anche i più ottusi. L'altro criterio è che quando pure facessero molte cose altrettanto bene o forse meglio di qualcuno di noi, fallirebbero inevitabilmente in altre, e si scoprirebbe così che agiscono non in quanto conoscono, ma soltanto per la disposizione degli organi.”



Cos' è l'Intelligenza? Come la verifico?

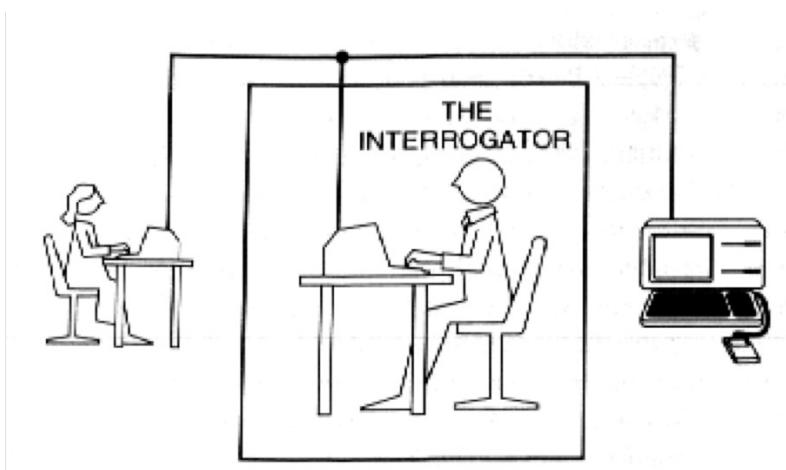
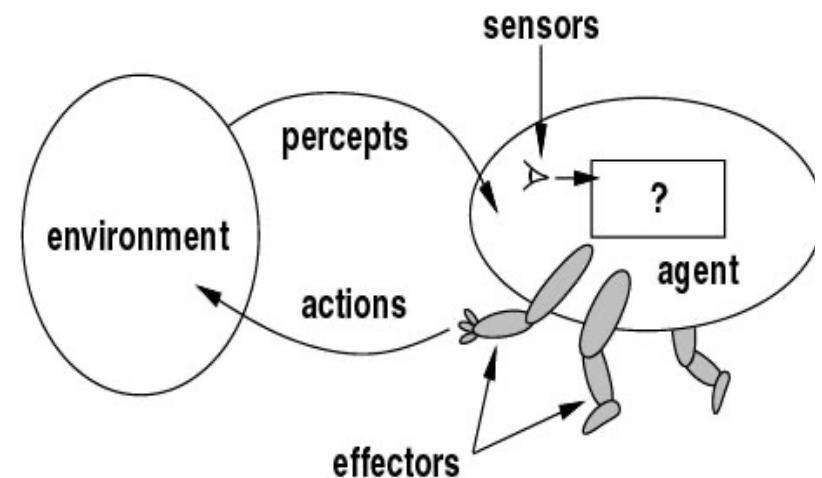
- ...Complesso di facoltà psichiche e mentali che consentono all'uomo di pensare, comprendere o spiegare i fatti o le azioni, elaborare modelli astratti della realtà, intendere e farsi intendere dagli altri, giudicare, e lo rendono insieme capace di adattarsi a situazioni nuove e di modificare la situazione stessa quando questa presenta ostacoli all'adattamento.....;

Da: "Enciclopedia Treccani, voce Intelligenza"



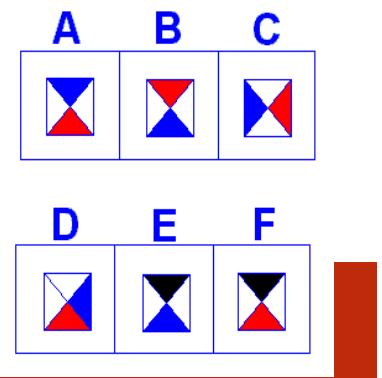
**Percezione
Apprendimento
Ragionamento
Astrazione**

.....



Example 2

▲	△	▲
▲	△	▲
▲	△	?



Alan Mathison Turing (1912-1954): Il padre dell'informatica

- *"Se ho potuto vedere più lontano degli altri, è perché sono salito sulle spalle dei giganti". (Isaac Newton)*



Bernardo Strozzi- San Cristoforo



UDIORUM
BOLOGNA

Turing: Le macchine possono pensare?

Articolo apparso nel 1950:

Alan M. Turing. Computing machinery and intelligence. Mind LIX(236): 433-460 (1950)

- Problema di definire i termini di Macchina (Universale?) e di Pensare (ambigui)
- Nuova forma del problema descritta nei termini di un **gioco** (**gioco dell'imitazione**)
- Abbiamo tre protagonisti: un **uomo**, una **macchina**, un **interrogante** che in una stanza separata deve determinare quale sia l'uomo e quale la macchina.
- *E' possibile che computer digitali con adeguata memoria, in grado di aumentare la loro velocità di azione e adeguatamente programmati, possano ingannare l'interrogante comportandosi come un essere umano?*
- Varie obiezioni a questa definizione.



Test di Turing e AI

- Il computer deve avere le seguenti capacità:
 - Elaborazione del linguaggio naturale;
 - Rappresentazione della conoscenza;
 - Ragionamento automatico;
 - Apprendimento automatico.
- Oltre il Test di Turing: Total Turing Test - Interazioni fisiche: Robotica, Visione artificiale, Parlato, Movimento, ecc.
- Nel 2014, un chatbot (Eugene Goostman), imitando le risposte di un tredicenne, pare abbia superato il test.
- Figli di Eliza ,programma scritto nel 1966 da Joseph Weizenbaum. Altri bot/assistenti vocali: Cleverbot (Machine Intelligence Prize 2010), SIRI (Apple), Cortana (Microsoft), Alexa (Amazon) ecc.
- Spesso costruiti indicizzando conversazioni precedentemente memorizzate in altri colloqui. Manca il concetto di coerenza, stato del dialogo...Social networks: misura dell'intelligenza o umana stupidità?
- Valenza metodologica, approccio ingegneristico, emulazione più che simulazione dell'intelligenza in domini limitati.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

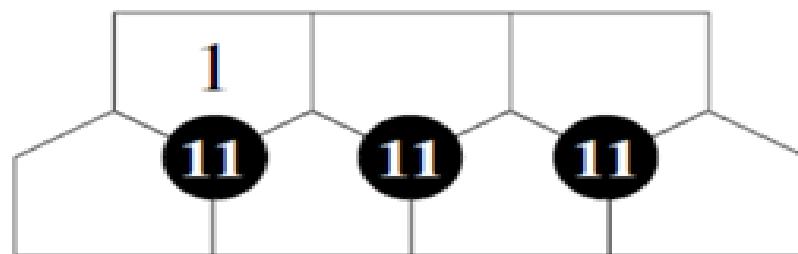
Oltre il test di Turing

Charlie Ortiz: **schemi di Winograd** per affrontare situazioni che richiedono non una mera capacità di analisi sintattica, ma spiccate capacità di interpretazione e di senso comune.

- **Esempio:** “Giovanna aveva ringraziato Maria per il regalo che Lei aveva ricevuto. A chi si riferisce il pronome *Lei*? ”

Giochi Matematici: Richiedono comprensione profonda del linguaggio, senso-comune, capacità di ragionamento, integrazione multimodale....(Risoluzione di problemi geometrici e tests per l'ammissione a scuola presso Allen Institute)

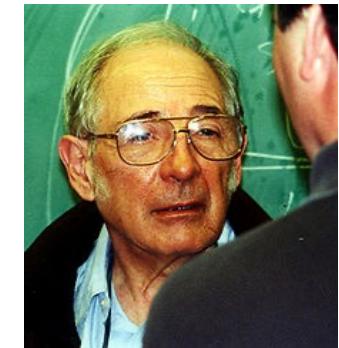
Esempio: Utilizzando tutti i numeri interi da 2 a 7, riempite i 6 mattoncini ancora “liberi” in modo che la somma dei numeri dei 3 mattoncini attorno a ciascun disco nero sia sempre uguale a 11.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Searle e la stanza cinese (1980)

Searle, J., 1980, 'Minds, Brains and Programs', *Behavioral and Brain Sciences*, 3: 417–57 [preprint](#)



*Ci sono sistemi che passano il
Test di Turing, ma non
sono intelligenti?*

La risposta è per Searle sì.

Un sistema all'interno di una stanza con un'apertura con un umano/programma che conosce solo l'inglese, ma che "sembra" capire il cinese. In realtà compie solo una traduzione seguendo regole scritte in inglese.



Image credit: NeuroLogica Blog



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Intelligenza Artificiale Debole e Forte

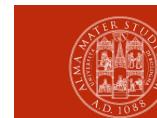
AI debole:

E' possibile costruire macchine in modo che agiscano *come se* fossero intelligenti?

AI forte:

E' possibile costruire macchine che pensino intelligentemente? (che abbiano menti coscienti reali?), che abbiano volontà, sentimenti?

Solleva alcuni dei problemi concettuali più difficili di tutta la filosofia e connessi alla capacità di essere responsabili.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Intelligenza Artificiale e Approccio Ingegneristico

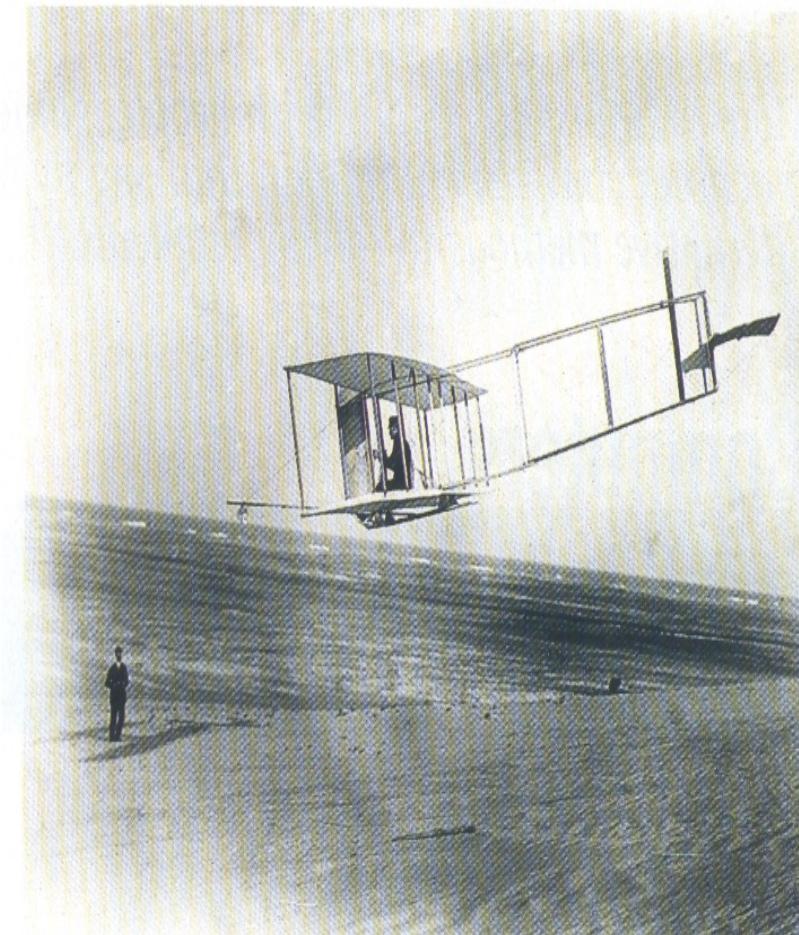


Image Credit: © Getty Images

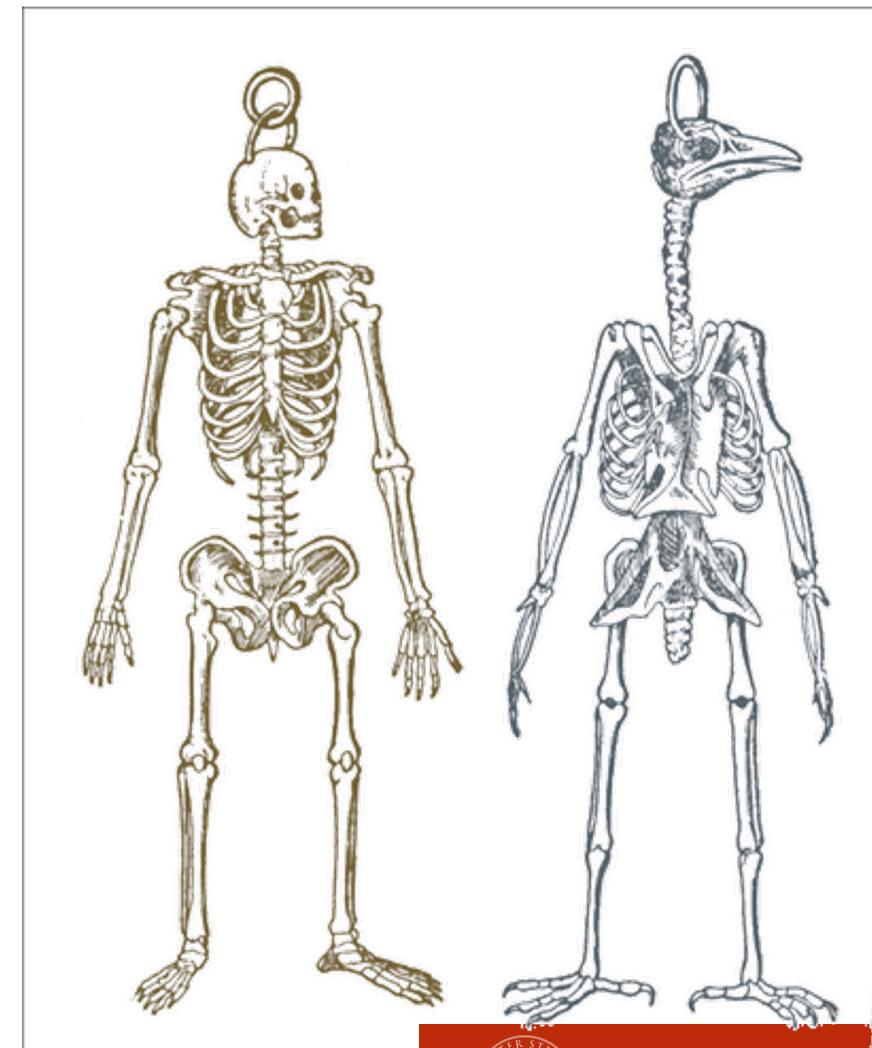


Image Credit: AI Magazine, Wiley



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

La previsione di Turing

"I believe that in about fifty years' time it will be possible to programme computers, with a storage capacity of about 10^9 , to make them play the imitation game so well that an average interrogator will not have more than 70 percent chance of making the right identification after five minutes of questioning. ... I believe that at the end of the century the use of words and general educated opinion will have altered so much that one will be able to speak of machines thinking without expecting to be contradicted."

A. Turing, "A Computing machinery and intelligence", Mind, vol. 59, n. 236, pp. 433-460, 1950.

E' così? .. O Turing rimarrebbe deluso?



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Intelligenza Artificiale - nascita e definizione

- 1956: the Dartmouth workshop (Minsky, McCarthy, Shannon, Newell, Simon).
- "*The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it.*" [McCarthy 1955].
- **Quale definizione di Intelligenza?** E di Intelligenza Artificiale? Lo stesso termine IA è contraddittorio, un ossimoro, attribuisce il termine artificiale alla parola intelligenza, ritenuta una prerogativa distintiva e naturale dell'uomo.

Alcune definizioni:

- È lo studio di come far fare ai calcolatori cose che, ora come ora, gli esseri umani fanno meglio(definizione transitoria: ad es. scacchi....)
- È la costruzione di un computer che è in grado di soddisfare il test di Turing (ragionamento, linguaggio naturale, apprendimento). Se Totale (situato in un ambiente) anche percezione, visione, movimento, robotica.
- Altre definizioni di IA tendono a non legare necessariamente l'intelligenza (artificiale) agli umani e sottolineano l'interazione con il mondo esterno e le capacità di adattarsi ad esso. Abbandono di una visione antropocentrica. Anche gli animali, i vegetali, e le macchine possono essere intelligenti se riescono ad interagire in modo utile con l'ambiente che li circonda.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AI: Definizioni

Definizione proposta dalla European Commission's Communication on AI 25/4/2018 COM(2018) final.

"Artificial intelligence (AI) refers to systems that display intelligent behaviour by analysing their environment and taking actions – with some degree of autonomy – to achieve specific goals.

AI-based systems can be purely software-based, acting in the virtual world (e.g. voice assistants, image analysis software, search engines, speech and face recognition systems) or AI can be embedded in hardware devices (e.g. advanced robots, autonomous cars, drones or Internet of Things applications)."

- Abbandono della definizione antropocentrica di AI: Intelligenza come la "la capacità di comportarsi in modo efficace in situazioni nuove ". (vedi Nello Cristianini: La scorciatoia, Edizioni Il Mulino 2023).



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AI: Definizioni

Definizione proposta dalla European Commission's Communication nel AI Act, article 3 comma 1:

"AI system means a machine-based system that is designed to operate with varying levels of autonomy and that may exhibit adaptiveness after deployment, and that, for explicit or implicit objectives, infers, from the input it receives, how to generate outputs such as predictions, content, recommendations, or decisions that can influence physical or virtual environments;"

<https://artificialintelligenceact.eu/ai-act-explorer/>



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Breve Storia

- **1943-1956** *La gestazione dell' IA*
 - reti neurali, programmi per il gioco degli scacchi, dimostratori di teoremi;
- **1952-1969** *Entusiasmo iniziale e grandi aspettative*
 - General Problem Solver, Programmi per il Gioco della Dama in torneo, Reti Neurali, Il linguaggio LISP.
- **1966-1974** *Una dose di realtà*
 - Alcuni programmi non erano davvero competenti (ELIZA, traduzioni puramente sintattiche), altri erano intrattabili (esplosione combinatoria). Le reti neurali erano inadeguate.
- **1969-1979** *Sistemi basati sulla conoscenza: la chiave del potere?*
 - Conoscenza intensiva su un dominio di ampiezza limitata. Sistemi Esperti.
- **1980-1988** *L'AI diventa un'industria*
 - Sistemi Esperti commerciali di successo, Progetto quinta generazione giapponese, Compagnie per lo sviluppo di sistemi di AI, Fondi per la ricerca. Algoritmo di apprendimento per reti neurali con propagazione all'indietro.
- **1988-2000** *Web e l'era di Internet*
 - Sistemi di supporto alle decisioni, agenti, robotica, linguaggio naturale
- **2000-oggi** *La visione data-driven, l'apprendimento e il ritorno delle reti neurali*
 - Machine learning e deep learning, big data e grande potenza di calcolo, linguaggio naturale, visione, augmented intelligence, grande interesse industriale, Industria 4.0



Intelligenza Collettiva

La natura ha sviluppato tecniche intelligenti per:

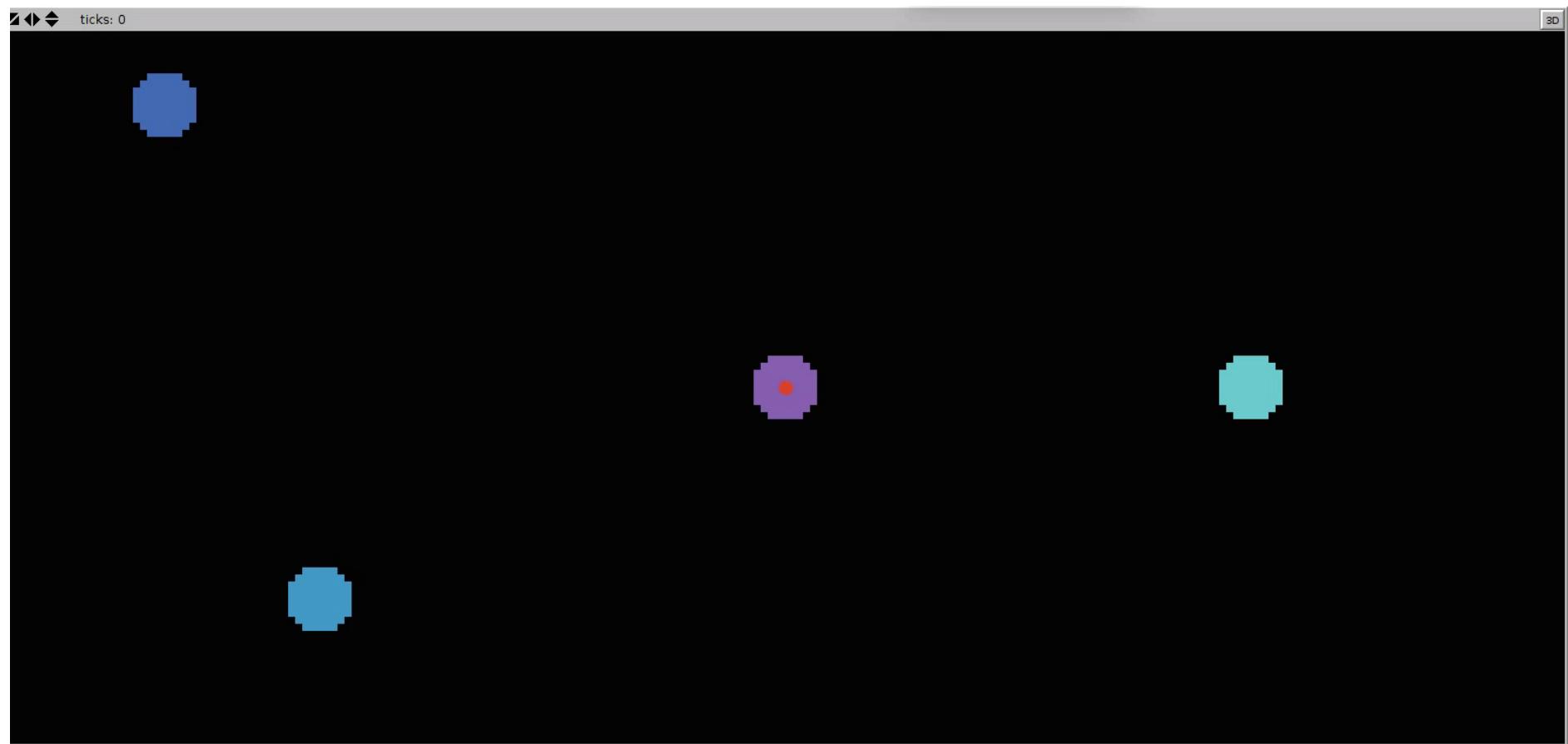
- la difesa dell'organismo, la selezione della specie per adattarsi all'ambiente (**Algoritmi Genetici o Evolutivi**)
- la coordinazione tra animali sociali (le termiti costruiscono termitai senza un progetto, le formiche muovono oggetti grandi senza un coordinatore, ecc.) (**Swarm Intelligence**)

Chi è a governare? Chi è che dà ordini, che immagina cosa accadrà in futuro, elabora piani e mantiene l'equilibrio?

- Questi comportamenti nascono (**emergono**) autonomamente, senza la presenza di un coordinatore/supervisore.
- Lo studio (interdisciplinare) di questi fenomeni ha permesso di sviluppare sistemi intelligenti basati su modelli di fenomeni e processi naturali robusti ed adattativi.
- Sciami di Droni/SmartPhone nel futuro?



Le Formiche e il Cibo



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Algoritmi Genetici/Evolutivi

- Gli **algoritmi genetici** (e la computazione evolutiva in generale) traggono ispirazione dalla teoria dell'evoluzione naturale e sono stati sviluppati da John Holland negli anni '70.
- Una nuova “creazione” può essere generata partendo da una configurazione iniziale random, evolvendosi in base a leggi “naturali”.
- **Fitness:** assicura che vengano scelte per la riproduzione le soluzioni “migliori” (fa le veci di un “critico” d’arte).
- **Mutazione:** assicura l’introduzione di elementi di novità.
- Riproduzione garantisce la combinazione di buone soluzioni genitrici.
- Problema: non sempre la fitness è chiaramente definibile. Può essere interattiva e chiesta all’utente in alcuni casi.
- Utili quando non è possibile o semplice la modellazione del problema da risolvere.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AI: due approcci

Due approcci all'Intelligenza Artificiale. Oggi: integrazione, architetture ibride.

- Approccio **top-down, o simbolico**: ad alto livello, indipendente dal livello sottostante (computer o cervello), funzionale o comportamentista.
 - Stati mentali identificati con rappresentazioni di tipo simbolico.
 - Un sistema simbolico fisico, Newell e Simon (1976), è un insieme di simboli che possono essere combinati in strutture simboliche complesse trasformabili.
 - Sistemi di logica, ontologie, sistemi a regole, architetture dichiarative.
 - Esempio: una circonferenza è descritta in base alle sue proprietà matematiche (dichiarativa), oppure mediante un metodo per disegnarla col compasso (procedurale)
- Approccio **bottom up, o connessionista**, di più basso livello, strutturale o costruttivista. Ci sono cose che il ragionamento formale non è in grado di cogliere (percezione, immagini, pixel, sensi, ambiente).
 - Reti di neuroni artificiali. La conoscenza si accumula implicitamente nelle connessioni fra i neuroni.
 - Concetto di circonferenza appreso in modo隐式的 a partire da esempi.
 - Algoritmi genetici



AI Classica e Moderna: Sistemi simbolici e Sub-simbolici

- **AI simbolica, sistemi basati sulla coscienza (Knowledge-driven)**

AI “classica” degli anni 80: l’intelligenza è la conseguenza della conoscenza espressa esplicitamente (in un linguaggio formale). Sistemi aperti e trasparenti, ma un “collo di bottiglia”: difficile scrivere in modo completo e aggiornare le basi di conoscenza.

- **Sistemi di Apprendimento automatico: Machine Learning (ML) – Data Driven**

La conoscenza, i modelli non sono forniti alla macchina in modo esplicito, ma imparati (in modo implicito o esplicito) mediante dei dati, esempi (Training Set) o esperienze. Ottimi in problemi di classificazione.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AI Classica e Moderna: Sistemi simbolici e Sub-simbolici

Restringendo il focus sui metodi di ML, in base al modello che si apprende distinguiamo fra:

ML metodi simbolici:

- Alberi di decisione, Regole di classificazione (IF (conditions) THEN (class)), Rappresentazioni Logiche (Inductive Logic Programming), Diagrammi. Applicazione in domini simbolici . Modelli. Trasparenti e con capacità di spiegazione, ma inefficaci in caso di domini con rumore o incertezza.

ML metodi sub-simbolici e reti neurali:

- La nuova era dell'AI. La conoscenza non è esplicita ma nascosta nei pesi e connessioni di una complessa rete neurale a molti livelli (Deep Neural Networks - DNN). Applicate a una grande quantità di problemi nell'area percettiva. Robusti al rumore e agli errori ma "opache".



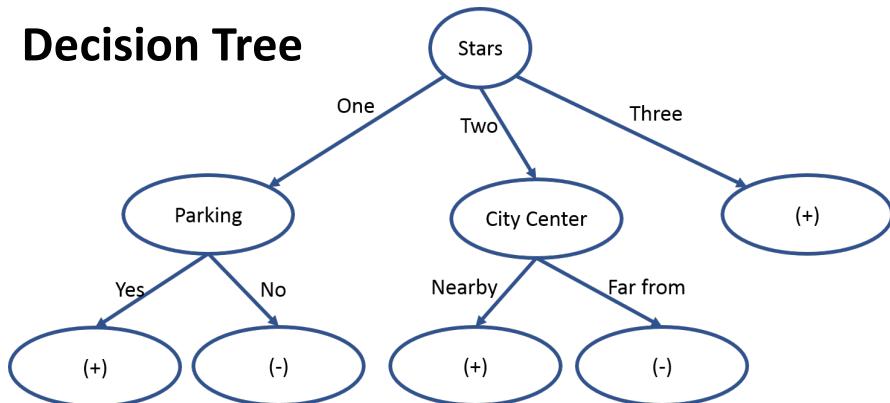
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AI Symbolica e Sub-Symbolica

PROLOG

```
descendant(D,A) :- parent(A,D).  
descendant(D,A) :- parent(P,D), descendant(P,A).
```

Decision Tree

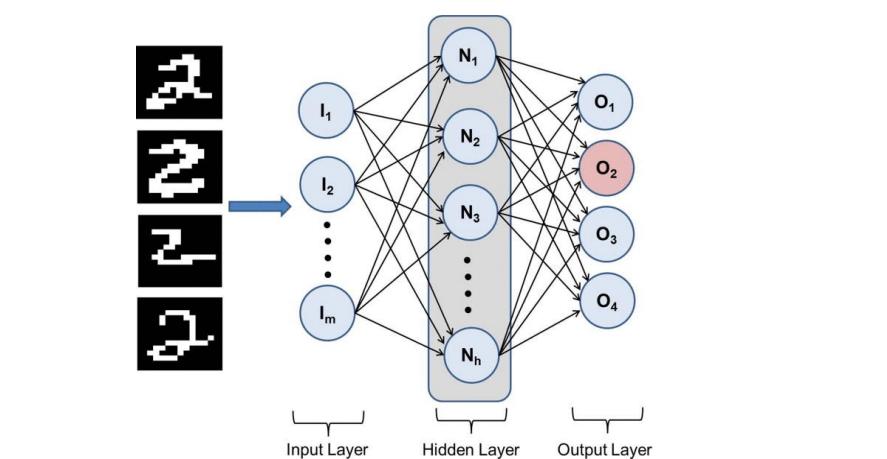
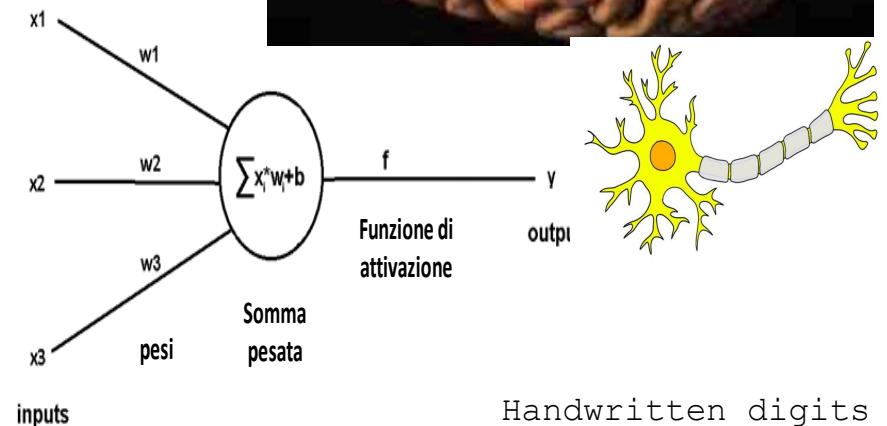
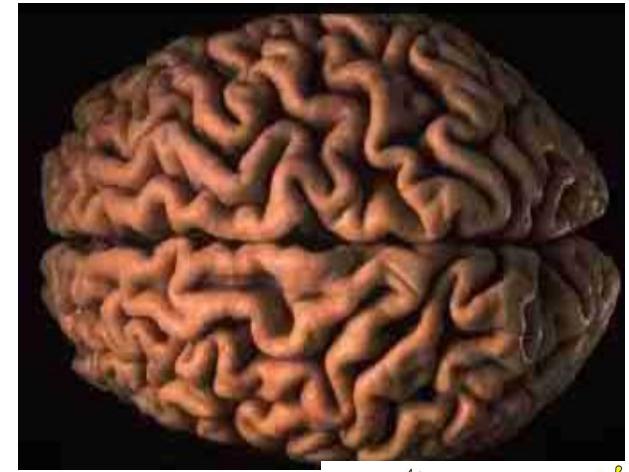


Classification Rules

if the Hotel is "three-star"
then it is to be recommended.

If the Hotel is "two-stars"
and is nearby the "City
Center" **then** it is to be
recommended.

.....



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

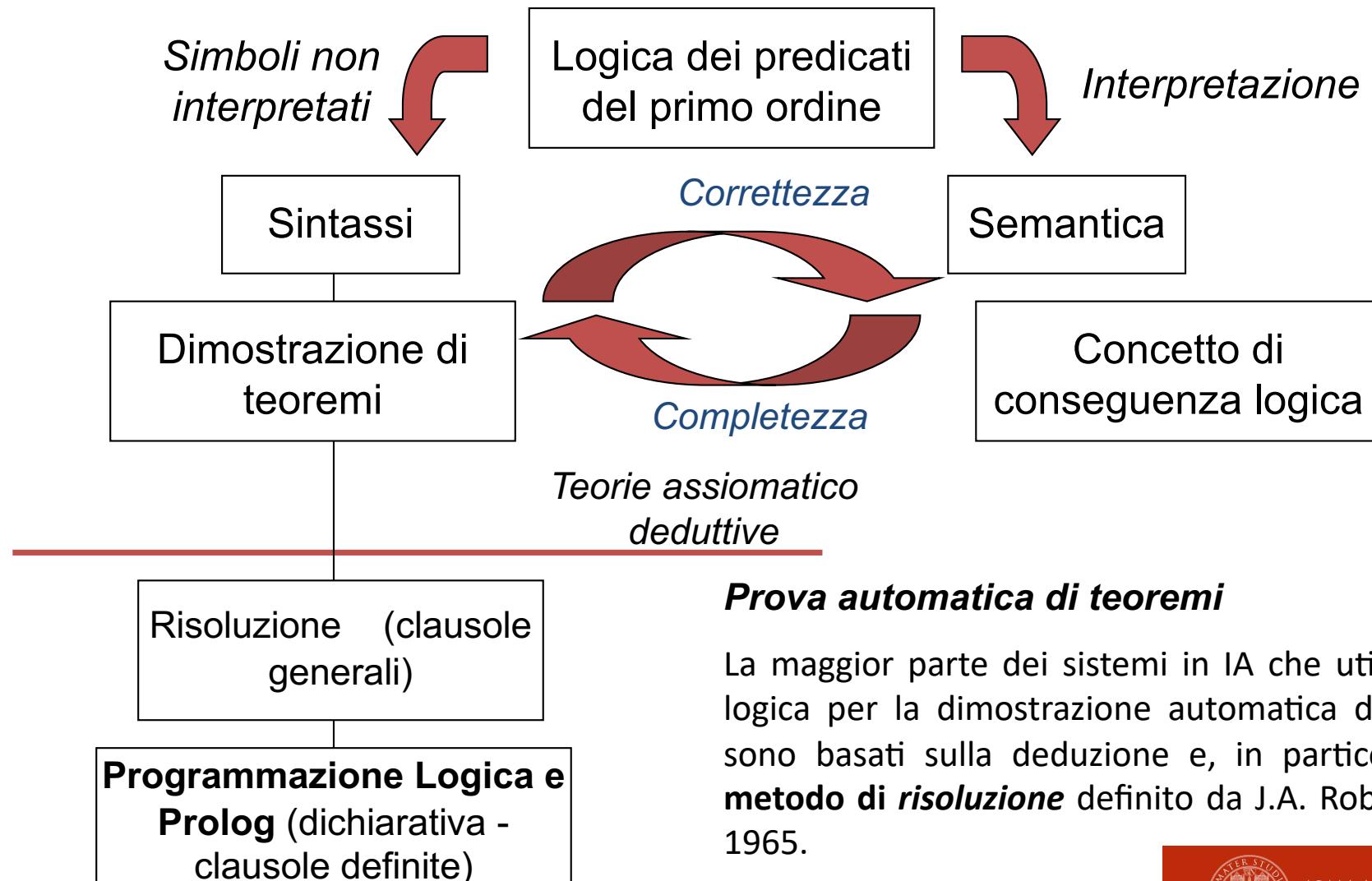
Il ragionamento e la Logica

- **Ragionamento deduttivo** (sillogismo aristotelico – logica deduttiva):
 - Da: *Tutti gli uomini sono mortali* e *Socrate è un uomo* allora: *Socrate è mortale*
 - Corretto, ma non ci consente di “imparare” nuova conoscenza.
- **Ragionamento induttivo** (apprendimento, deduzione inversa)
 - Dall'osservazione di svariati uccelli che volano allora *Tutti gli uccelli volano* (e i pinguini?).
 - Produzione di conoscenza “nuova”, a scapito della correttezza.
- **Ragionamento ipotetico o abduttivo** (duale del deduttivo):
 - Dall'osservazione della morte di Socrate e sapendo che *Tutti gli uomini sono mortali* ipotizza che *Socrate è un uomo*. (e se fosse un gatto?).
 - Risale alle cause mediante l'osservazione degli effetti a scapito della correttezza.
- **Ragionamento per analogia (metaforico, case-based)**
 - Non richiede un modello o molti dati, ma utilizza il principio di somiglianza. Socrate e Giovanni si “assomigliano” e Socrate ama la filosofia allora: Giovanni ama la filosofia.
 - K-Nearest-Neighbor e Support Vector Machine (SVM).
 - Utilizzo di vincoli, probabilità, statistica (teorema di Bayes)



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

La Logica, la dimostrazione automatica e Prolog



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Diverse interpretazioni di algoritmo nelle soluzione di problemi

- Algoritmo = strutture dati e istruzioni
- Algoritmo = logica (conoscenza) + controllo (motore d'inferenza)
- Algoritmo = esempi (esperienza) + machine learning

Cresce il livello di generalità e “intelligenza”



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Linguaggi Dichiаративи e Prolog

ALGORITMO = LOGICA + CONTROLLO

- Conoscenza sul problema indipendente dal suo utilizzo
 - Esprimo COSA e non COME
 - Alta modularità e flessibilità
 - Schema progettuale alla base di gran parte dei SISTEMI BASATI SULLA CONOSCENZA (Sistemi Esperti)
 - LOGICA: conoscenza sul problema determina correttezza ed efficienza
 - CONTROLLO: strategia risolutiva ne determina l'efficienza
-
- **PROLOG: PROgramming in LOGic**
 - E' il più noto linguaggio di Programmazione Logica e si fonda sulle idee di avanzate da R. Kowalski e la prima realizzazione da parte di A. Colmarchur (1973).



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Programma Prolog

Un PROGRAMMA PROLOG è un insieme di clausole di Horn che rappresentano:

- FATTI riguardanti gli oggetti in esame e le relazioni che intercorrono
 - REGOLE sugli oggetti e sulle relazioni (SE.....ALLORA)
 - GOAL (clausole senza testa), sulla base della conoscenza definita
 - ESEMPIO: due individui sono colleghi se lavorano per la stessa ditta

```
lavora(emp1,ibm).  
lavora(emp2,ibm).  
lavora(emp3,txt).  
lavora(emp4,olivetti).  
lavora(emp5,txt).  
  
:- collega(X,Y).
```



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

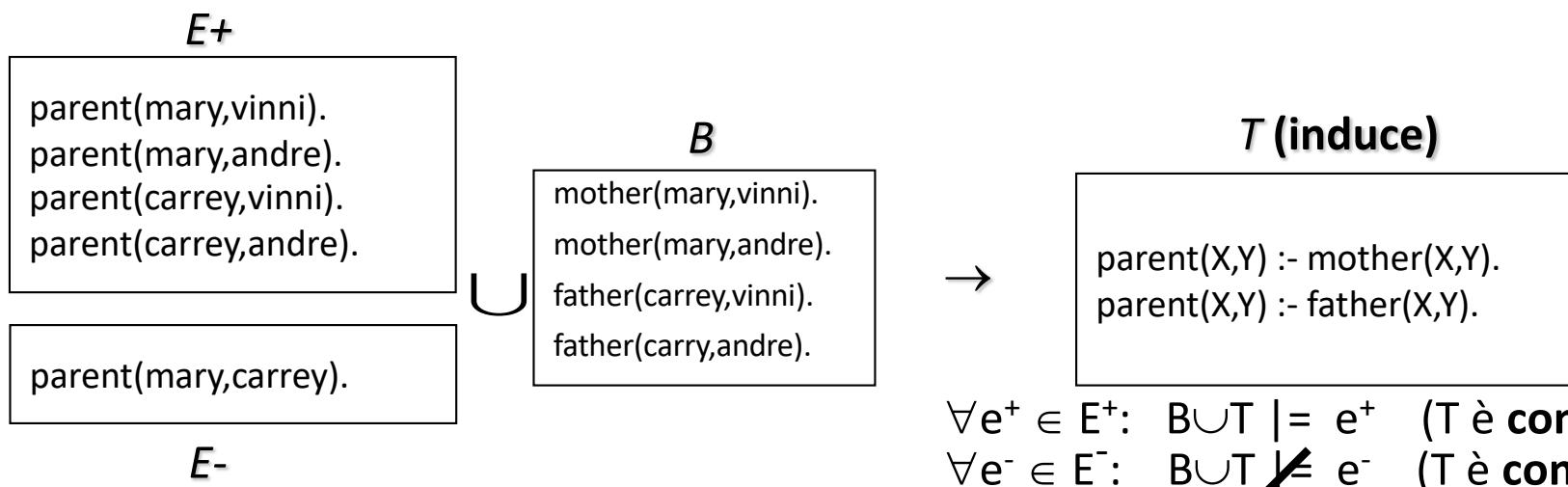
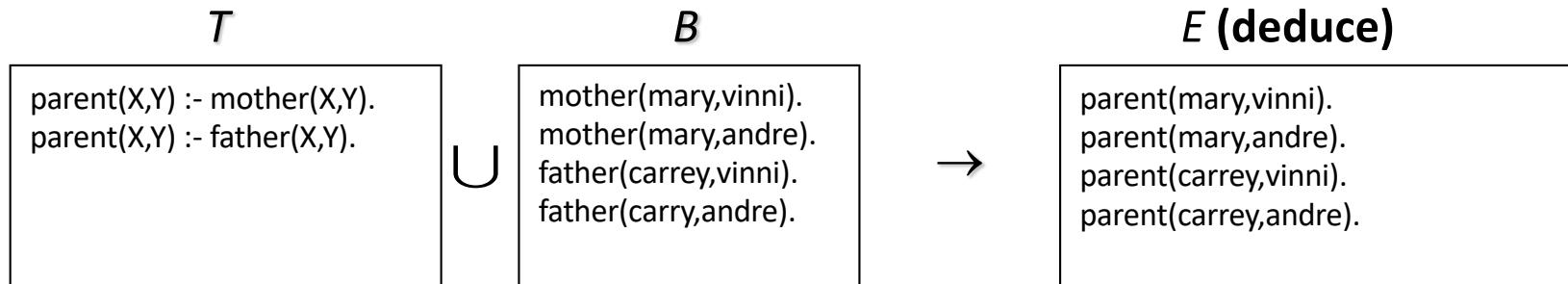
Programma Prolog (cont.)

- Somma di due numeri interi. Definizione dichiarativa.
sum(0,X,X) . **FATTO**
sum(s(X),Y,s(Z)) :- sum(X,Y,Z) . **REGOLA**
- Simbolo **sum** non interpretato.
- Numeri interi interpretati dalla struttura “successore” **s(X)**
- Si utilizza la ricorsione
- Esistono molte possibili interrogazioni (algoritmi)

```
: - sum(s(0), s(s(0)), Y).  
: - sum(s(0), Y, s(s(s(0)))).  
: - sum(X, Y, s(s(s(0)))).  
: - sum(X, Y, Z).  
: - sum(X, Y, s(s(s(0)))), sum(X, s(0), Y).
```

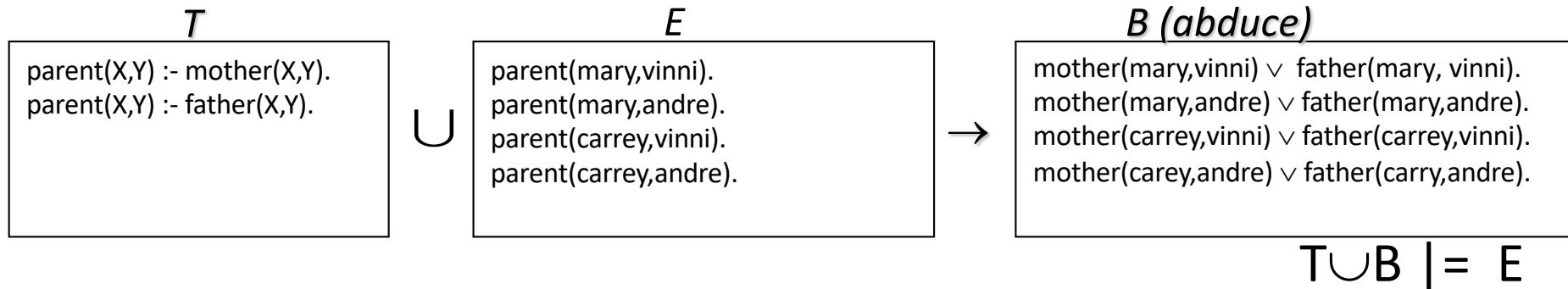


Deduzione e Induzione in programmazione logica

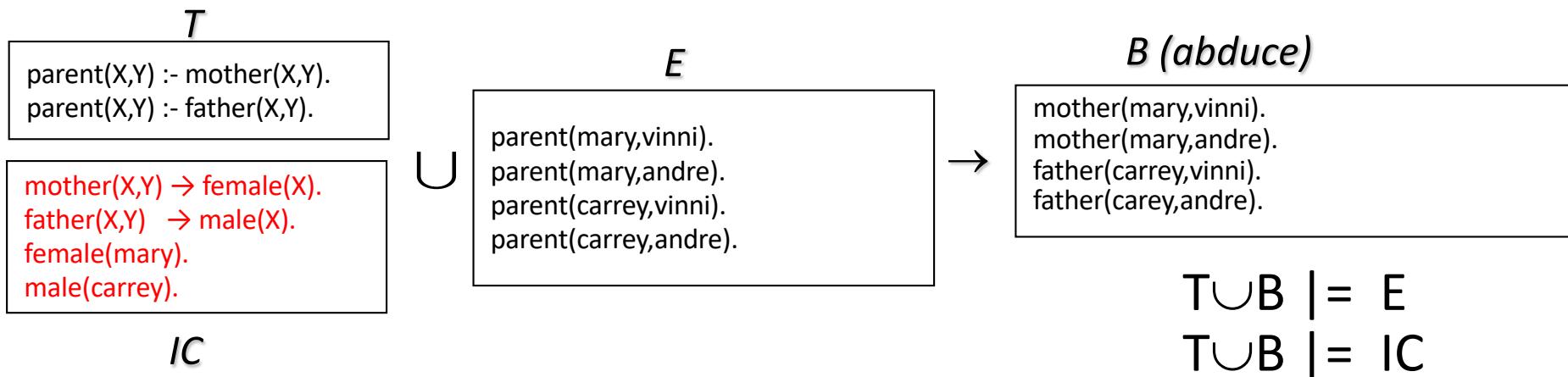


ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Abduzione in programmazione logica



Spesso si usano anche “vincoli di integrità” per controllare la generazione di ipotesi.



Prolog: una rivoluzione fallita?

- Grande idea, rivoluzionaria
- Linguaggio non legato alla macchina di Von Neumann
- Europeo versus Americano
- Progetto V generazione Giapponese negli anni 80' (fallito)
- La tecnologia ha fatto nel frattempo passi giganteschi...
- Perché Prolog non si è diffuso come si credeva negli anni 80?
- Tante applicazioni, spunti, ricerca, estensioni di Prolog nell'area AI, ma non solo.

Realizzazioni Prolog Disponibili:

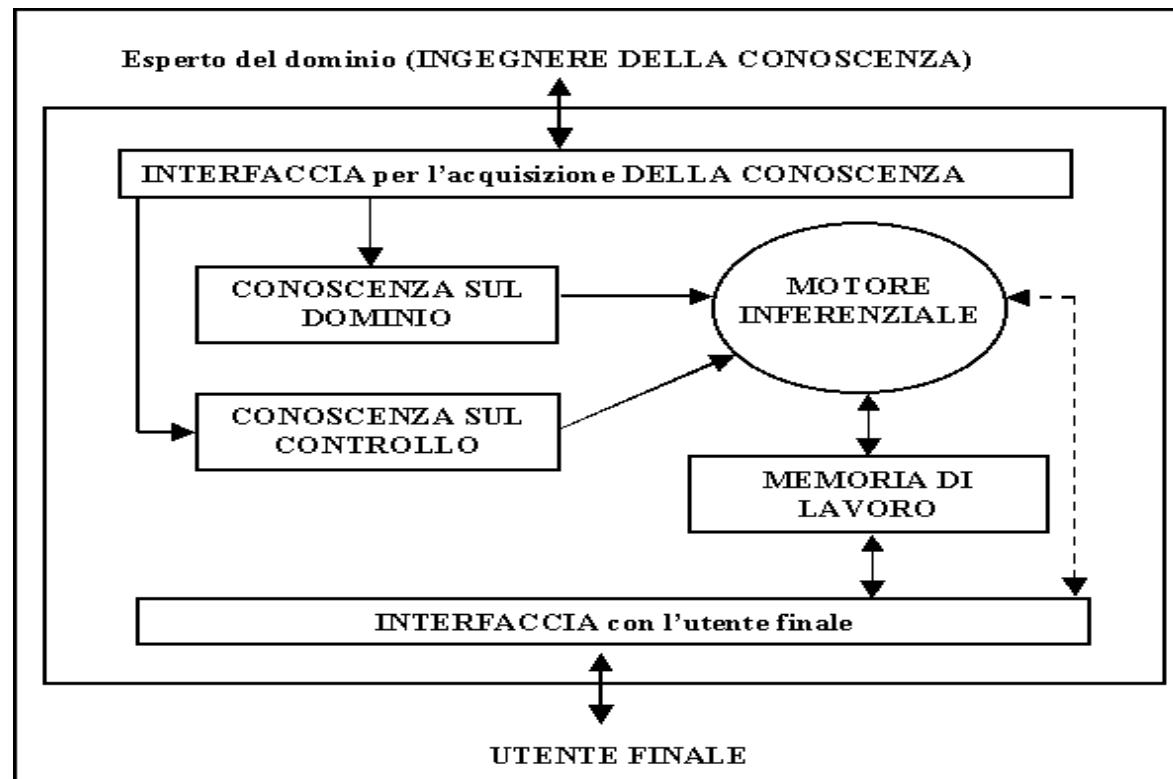
- SWI Prolog: un Prolog molto usato e particolarmente ben integrato per il Semantic Web <http://www.swi-prolog.org>
- tuProlog: un Prolog basato su Java usato anche per applicazioni internet sviluppato da Unibo.
- <http://apice.unibo.it/xwiki/bin/view/Tuprolog/>



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

La storia: Sistemi a regole e di supporto alle decisioni (Sistemi Esperti - 1980)

- Un sistema **basato sulla conoscenza** (o sistema esperto) è un sistema in grado di risolvere problemi in un **dominio limitato** ma con prestazioni **simili** a quelle di un **esperto** umano del dominio stesso.
- Esamina un largo numero di possibilità e costruisce dinamicamente una soluzione, opportunamente valutata e poi scelta o scartata.
- La ricerca e/o generazione delle soluzioni è guidata da **Regole**.



Esempio di Sistema basato su regole

Esempio: un problema di diagnostica.

OBIETTIVO: prescrivere una medicina adeguata per un determinato paziente in base ai risultati di alcuni esami di laboratorio: **prescribe (Drug)** .

BASE di CONOSCENZA:

Fatti:

```
gram(neg) .  
not(allergic(antb)) .
```

Regole:

R1: **gram (neg) → id (ecoli)** .

Se il risultato dell'esame è *gram-negativo* allora l'identità è *enterium-colis*

R2: **gram (pos) → id (strep)** .

Se il risultato dell'esame è *gram-positivo* allora l'identità è *streptococco*

R3: **id(strep) OR id(bact) → ind(pen)** .

Se l'identità è streptococco o battero allora è bene indicare penicillina

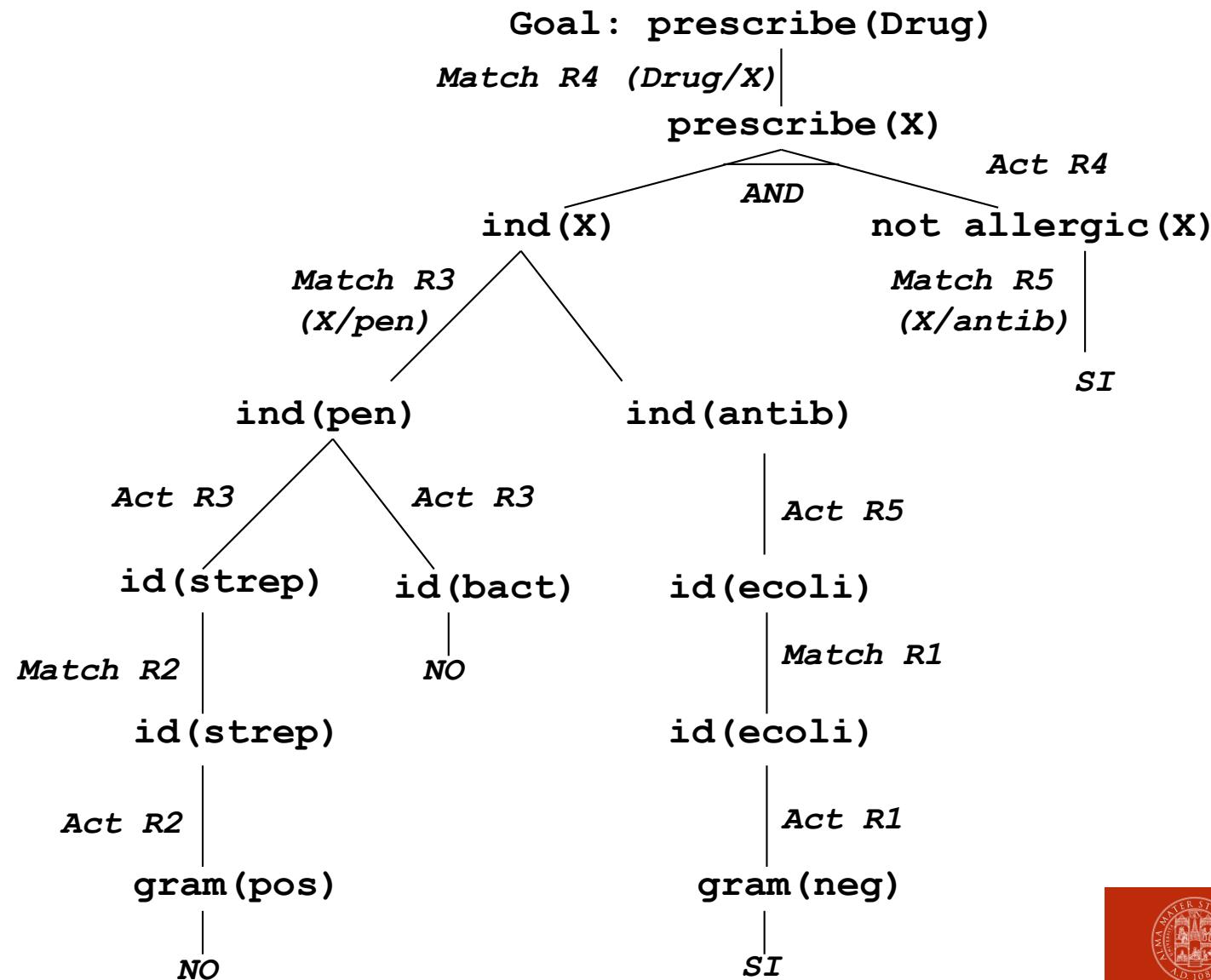
R4: **ind(X) AND not (allergic(X)) → prescribe(X)**

Se è bene indicare una certa medicina e il paziente non è allergico a tale medicina, allora si può prescrivere tale medicina al paziente

R5: **id(ecoli) → ind(antb)** .

Se l'identità è *enterium-colis* allora è bene indicare antibiotici

Motore di Inferenza o Controllo (backward)



Esempio di sessione di lavoro

- Sys: È la coltura Gram positiva ?
- User: NO.
- Sys: È la coltura Gram negativa?
- User: SI.
- Sys: Il paziente è allergico agli antibiotici ?
- User: NO.
- Sys: Allora prescriverei una cura a base di antibiotici.

Sessione di spiegazione:

- Sys: È la coltura Gram positiva ?
- User: **WHY?** < perchè è importante determinare tale informazione?
- Sys: Tale informazione è di aiuto per determinare se (R1) l'identità dell'organismo è streptococco.
- User: **WHY?**
- Sys: Tale informazione è di aiuto perchè per tale organismo è indicata la penicilina (R3).
- Sys: ... Allora prescriverei una cura a base di antibiotici.
- User: **HOW?** <come puoi concludere tale responso?
- Sys: Ho utilizzato la regola R4: ho prescritto antibiotici poichè sono indicati per tale infezione (prem1) e il paziente non è allergico (prem2).
- User: **HOW Premessa 1 ?**
<come puoi concludere che sono indicati gli antibiotici?
- Sys: Ho utilizzato la regola R5: sono indicati antibiotici poichè l'organismo che ha causato l'infezione è ecoli.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Mycin e sistemi a regole

Creato a metà degli anni 70, Mycin è stato uno dei primi Sistemi Esperti in campo medico, applicato nell'aiutare dottori nella prescrizione di terapie antibiotiche nel caso di infezioni.

RULE037



IF the organism

- 1) stains gramos**
- 2) has coccus shape**
- 3) grows in chains**

THEN

**There is suggestive evidence
(.7) that the identity of the organism is
streptococcus.**

Conoscenza e sistemi a regole

“La potenza di un programma intelligente nel risolvere un problema dipende primariamente dalla quantità e qualità di conoscenza che possiede su tale problema”. (Feigenbaum)

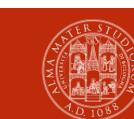
Varie applicazioni: Pianificazione, Previsione, Diagnosi, Progetto.

Acquisizione della Conoscenza (collo di Bottiglia dei Sistemi Esperti)

Problemi:

- L'esperto nella sua “creatività” e “competenza” non puo' essere sostituito, ma coadiuvato (soprattutto nelle parti piu' lunghe e ripetitive).
- Fonti diverse, parziali e non sempre concordi (diversi punti di vista)
- La conoscenza evolve (nuove versioni dei documenti di riferimento)
- La conoscenza non è sempre manifesta ed esplicita (discovery)
- La conoscenza è spesso legata alla singola realtà, non ha solo regole generali ma lavora per analogia e casi simili (spesso nel caso di sistemi legali)

→ **Tecniche di apprendimento e data-mining**



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Apprendimento e Intelligenza

- Imparare dall'esperienza, dai propri sbagli, da insegnanti, da altri esseri umani, dall'ambiente è una capacità peculiare e sostanziale dell'intelligenza.
- Approccio empirista (che si oppone all'approccio razionalista).
- Sviluppo di algoritmi di apprendimento (“machine learning”): una delle aree di ricerca più feconde della moderna IA.

Epoca dei “big-data” e enorme potenza di calcolo.

Gli algoritmi di apprendimento sono diventati sempre più importanti per dominare la complessità dell'informazione ed “estrarre” conoscenza.

- “Forse non lo sapete, ma il “machine learning ci ha circondato”. Da: Prologo di *“L'algoritmo definitivo: La macchina che impara da sola e il futuro del nostro mondo”*, Pedro Domingos Aprile 2016, Bollati Boringhieri.
- Non teoremi, ma probabilità e ottimizzazione.
- Apprendimento basato sul metodo induttivo, compromesso fra generalizzazione (non correttezza) e eccessiva specializzazione (overfitting).



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Apprendimento in Intelligenza Artificiale

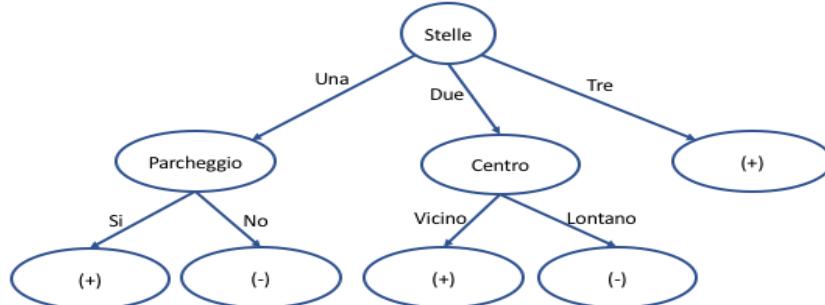
- **Apprendimento supervisionato:**
 - Si parte da un insieme di esempi impartiti da un insegnante (“training set”).
 - Risolve principalmente problemi di classificazione (pattern recognition).
- **Apprendimento non-supervisionato:**
 - Mediante osservazione e scoperta.
 - Dall'esterno non arriva alcun aiuto, ma è il sistema stesso che si incarica di analizzare le informazioni di cui dispone, di classificarle e strutturarle e di formare autonomamente delle teorie.
 - Clustering
- **Apprendimento mediante rinforzo:**
 - Apprendere un comportamento ottimale a partire da esperienze passate.
 - Osservo in modo critico il risultato buono o cattivo delle scelte fatte (anche mediante premi e punizioni) e modifco il comportamento di conseguenza.
 - Trova molte applicazioni in robotica.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

AI Symbolica e Sub-Symbolica: l'apprendimento

Albero Decisionale



Prolog

```

consiglia(H) :- stelle(H,***).
consiglia(H) :- stelle(H,**),
              centro(H,vicino).
  
```

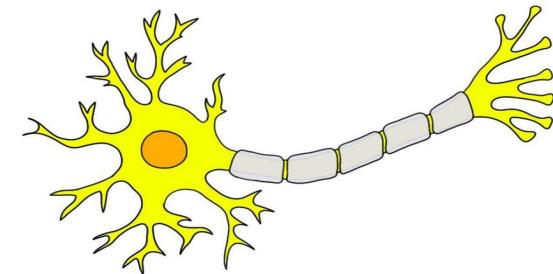
Regole:

Se l'Hotel è a tre stelle allora è da consigliare.

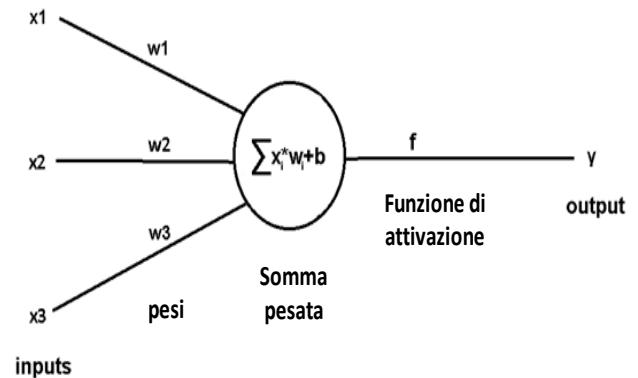
Se l'Hotel è a due stelle ed è vicino al Centro allora è da consigliare.

.....

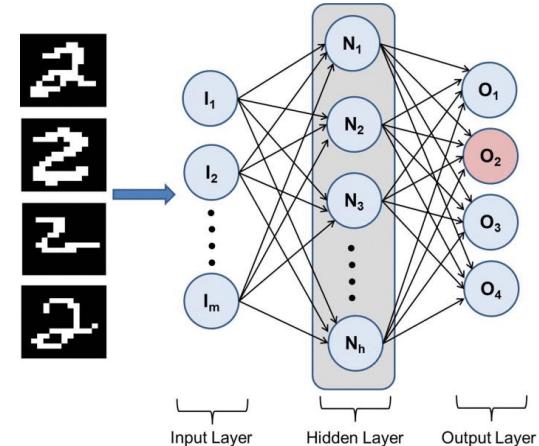
Neurone



Neurone artificiale



Reti multi-livello



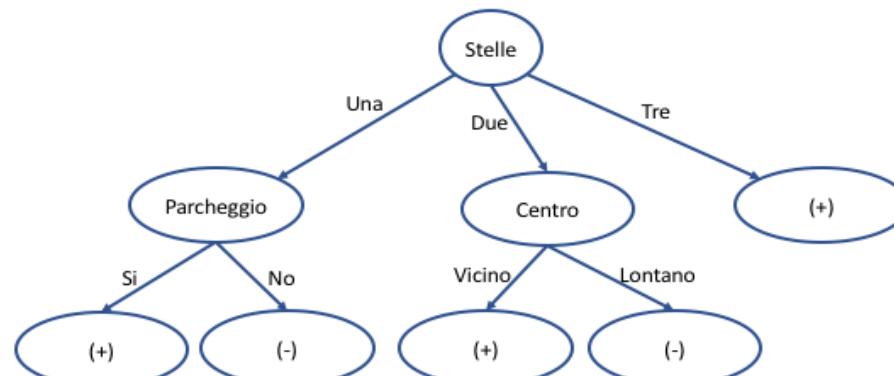
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Apprendimento simbolico: alberi decisionali (ID3, C4.5)

Un possibile training set per stabilire se un Hotel è adatto per una vacanza:

Stelle	Costo	Centro	Parcheggio	Classe
**	Medio	Vicino	f	+
**	Alto	Lontano	f	-
**	Alto	Lontano	v	-
**	Medio	Lontano	v	-
**	Basso	Vicino	v	+
***	Medio	Lontano	f	+
***	Alto	Lontano	v	+
***	Basso	Vicino	f	+
***	Alto	Lontano	v	+
*	Medio	Lontano	f	-
*	Basso	Vicino	f	-
*	Medio	Lontano	v	+
*	Basso	Lontano	v	+
*	Medio	Lontano	v	+

Il corrispondente albero decisionale:



Regole:

Se l'Hotel è a tre stelle allora è da consigliare.

Se l'Hotel è a due stelle ed è vicino al Centro allora è da consigliare.

.....



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

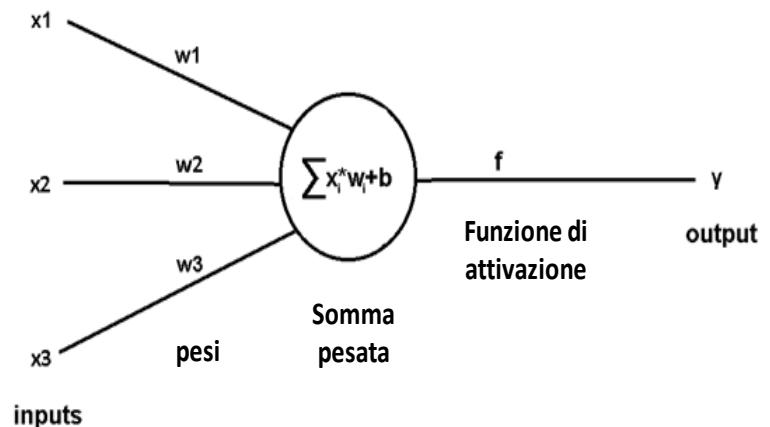
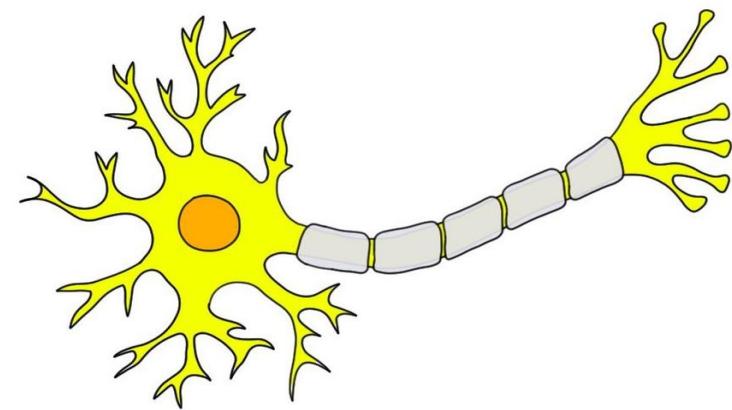
Il neurone artificiale

Simulare direttamente sul computer il funzionamento del cervello, ovvero costruire una macchina intelligente a partire da neuroni artificiali.

Primo modello matematico di neurone artificiale ispirato ai neuroni biologici fu proposto nel [1943](#) da McCulloch e Pitts.

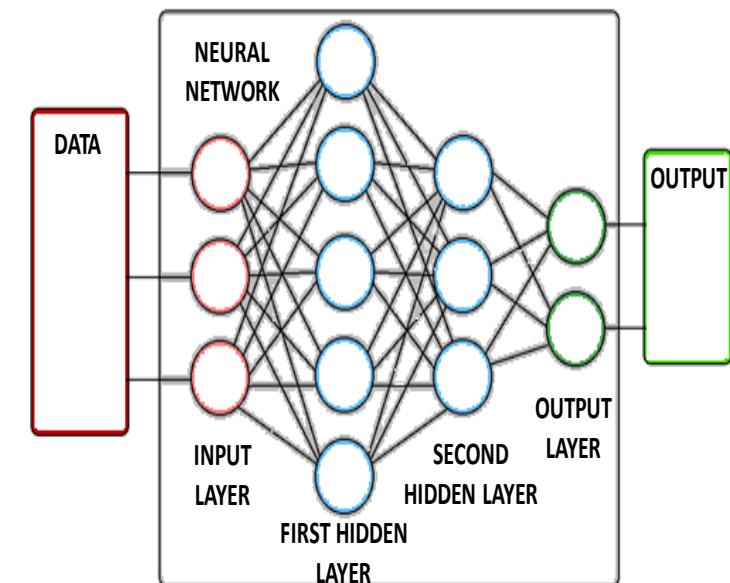
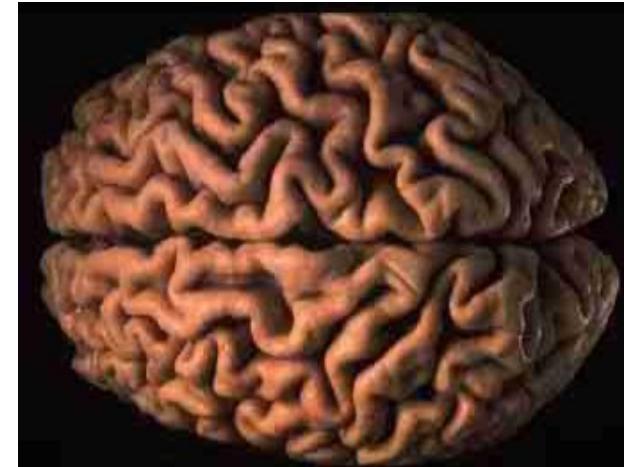
Un neurone riceve un insieme di ingressi, ne fa una somma pesata ed applica poi una funzione di attivazione per calcolare l'uscita.

L'uscita è controllata da una funzione di attivazione: ogni neurone si attiva soltanto nei casi in cui il proprio ingresso supera una certa soglia.



Le Reti Neurali

- Nel 1958, Rosenblatt propose il “**perceptron**”, un neurone artificiale a soglia a singola uscita.
- I pesi delle connessioni potevano essere modificati iterativamente da un algoritmo di apprendimento per minimizzare l'errore.
- Modelli limitati rappresentando solo concetti nei quali gli esempi sono linearmente separabili.
- Per rappresentare concetti più complessi si costruirono allora reti di neuroni, architetture multi-strato (ad esempio le reti “in avanti” o “feed-forward”), e nuovi algoritmi di apprendimento.
- Approccio significativamente diverso da quello simbolico. La conoscenza non è esplicita ma insita nella struttura della rete e nei pesi delle connessioni.

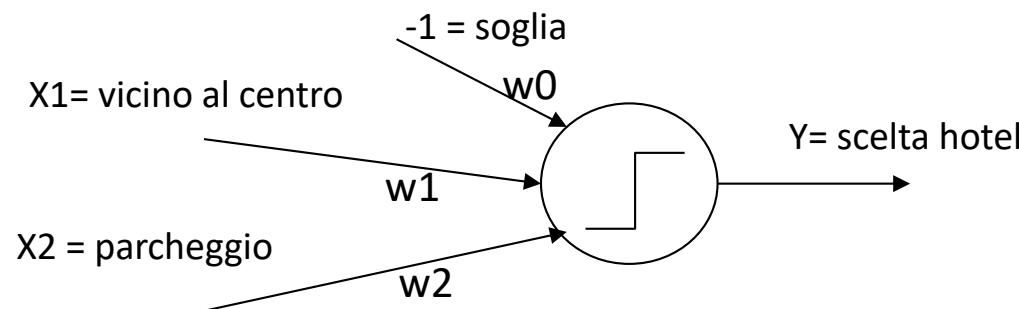


Rete feed-forward con due strati nascosti

Modello decisionale basato su una rete neurale

Immaginiamo di volere modellare con un neurone la scelta di un Hotel per le vacanze sulla base delle caratteristiche: vicinanza dal centro e presenza del parcheggio.

- Percettrone con due ingressi binari x_1 e x_2 . x_1 sarà 1 se è vicino al centro, 0 altrimenti; x_2 sarà 1 se possiede il parcheggio e 0 se non lo possiede.
- La scelta dell'Hotel sarà rappresentata dall'uscita binaria del percettrone: 1 se scelgo l'Hotel, 0 se non lo scelgo.
- In base ai valori assegnati ai pesi potrò realizzare diversi modelli decisionali:
 - Se desidero assolutamente andare in automobile la presenza del parcheggio potrebbe essere decisiva per la scelta e indipendente dalla vicinanza o meno al centro. Potrei allora assegnare un valore alto per il peso w_2 (4), basso per il peso w_1 (2) e 3 alla soglia w_0 .
 - Se invece attribuisco a w_1 3 e alla soglia w_0 il valore 2, la scelta ricadrebbe sull'Hotel se ha il parcheggio oppure se è vicino al centro.
- Queste configurazioni dei pesi si determineranno dinamicamente in base agli esempi ed all'utilizzo di opportuni algoritmi di apprendimento.



Funzionamento di una rete neurale per classificazione di cifre

Ingressi:

- MxN pixel dell'immagine con valori binari 0/1

Uscite:

- possibili cifre da riconoscere; il vettore [0,0,0,1,0,0,0,0,0,0] indica la cifra 3

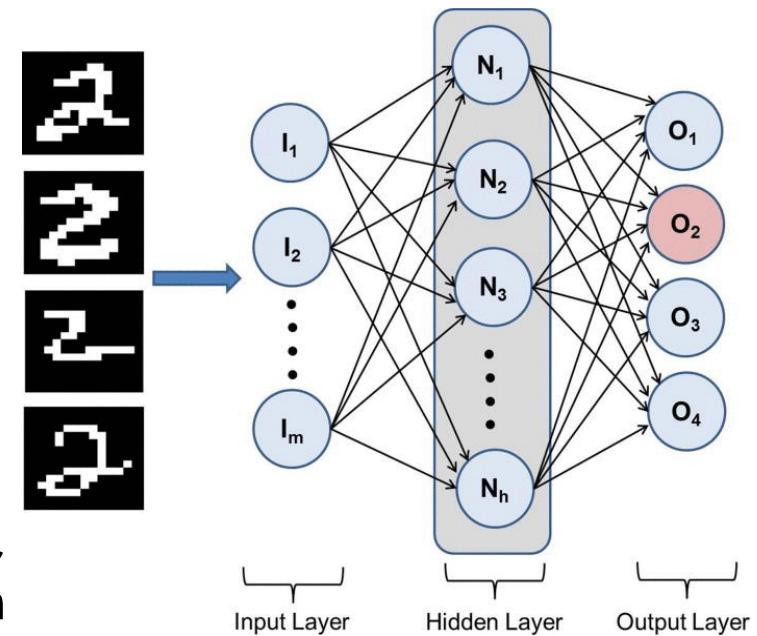
Training set:

- insieme di coppie (ingressi,uscite) (MNIST dataset).

Modalità di apprendimento **supervisionata**, le classi di uscita sono note, per ciascun esempio, nel corso dell'apprendimento.

Valutazione dell'errore:

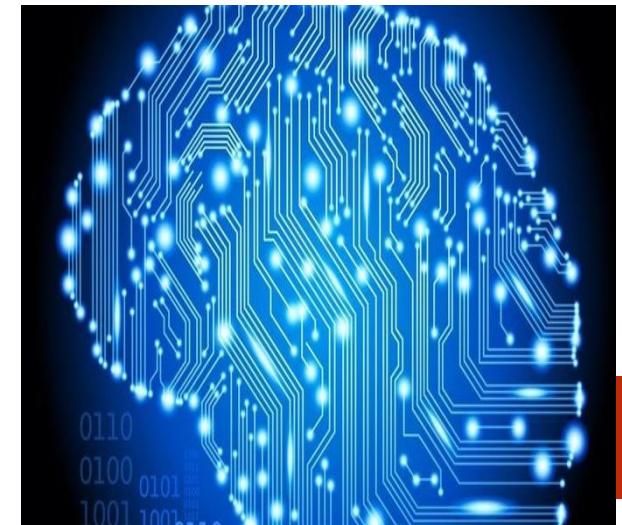
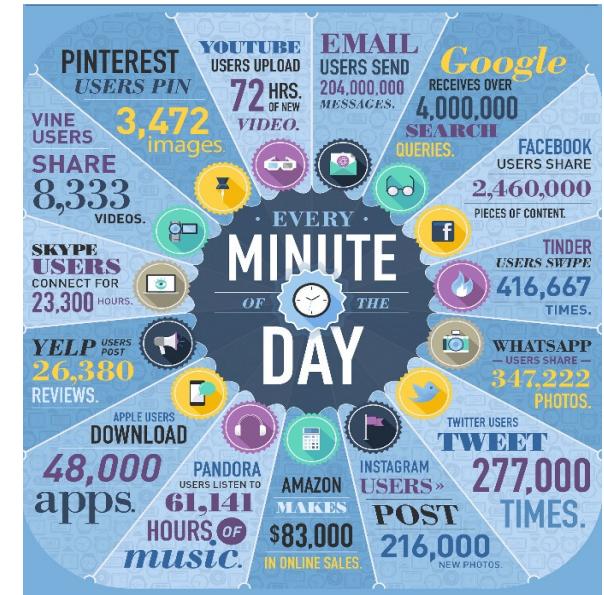
- esempi classificati correttamente
- utile per fermare l'addestramento



AI e l'era dei Big Data: Deep Neural Network e Deep learning

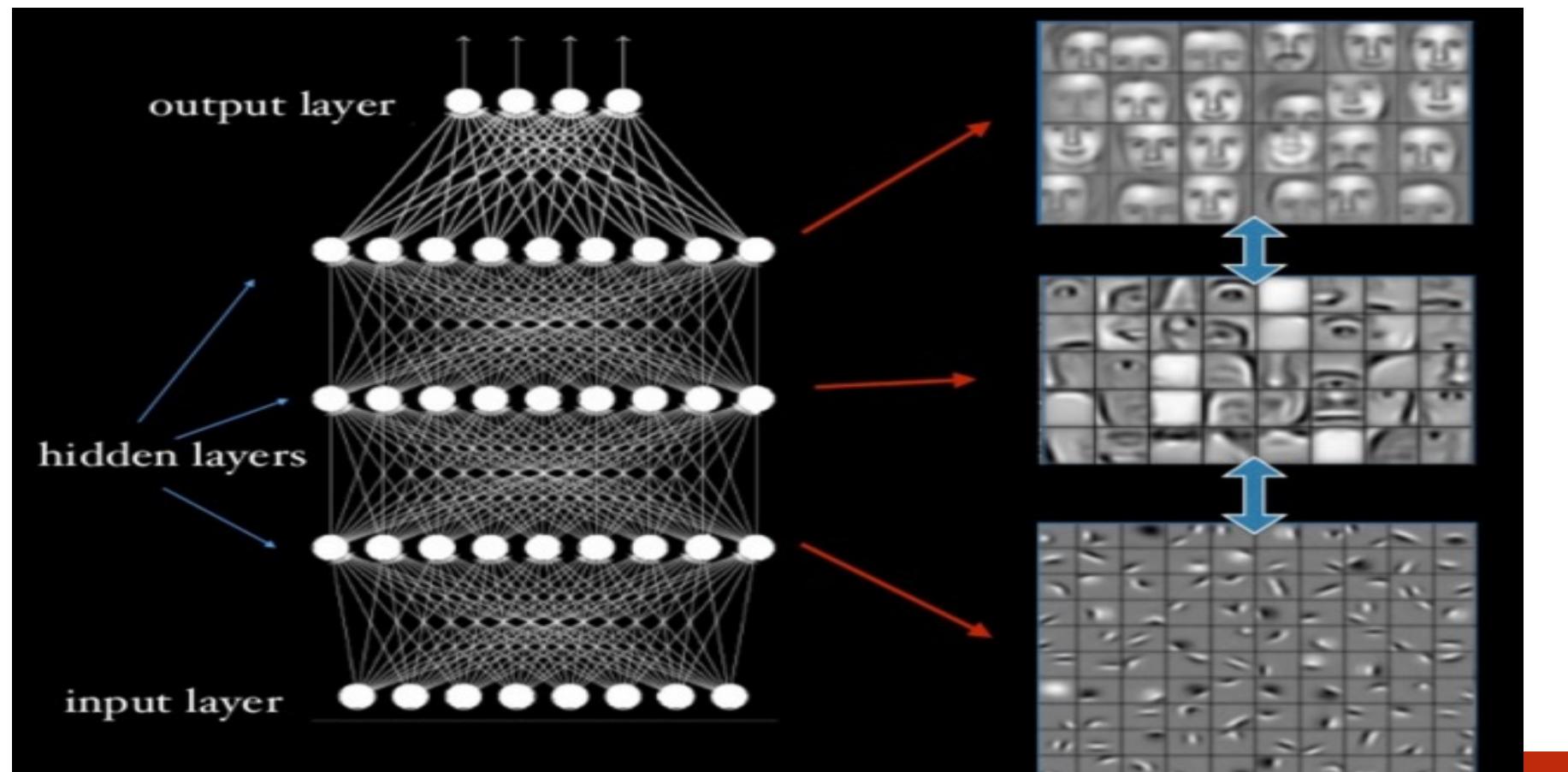
- Masse di informazioni non strutturate (**big data**) e grande capacità di memoria e potenza di calcolo (GPU, multi-core).
- **Deep Learning:** modelli e algoritmi che utilizzano reti neurali con molti neuroni e molti **strati**, che possono apprendere **funzioni di funzioni**, cercando di individuare caratteristiche “importanti” dei dati (grezzi).
- ~~Le DNN oggi maggiormente utilizzate consistono di un numero di livelli tra 7 e 50 (AlexNet, per il riconoscimento di immagini 8 livelli e 650K neuroni).~~
- Gli algoritmi supervisionati attualmente ottengono buone prestazioni con circa 5000 esempi per ogni categoria e superano gli umani con 10 milioni di esempi.
- Non sono una “simulazione” del cervello che ha più neuroni e una struttura molto più complessa. Con uno sviluppo ulteriore della potenza di calcolo, potranno avere un numero di neuroni paragonabile a quello umano non prima del 2050. Per ora minore di quelli di una rana!.

Da: I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: “Deep Learning”, MIT Press,
<http://www.deeplearningbook.org>, 2016



Deep Neural Networks e Deep learning (cont.)

Nel Deep Learning il mondo può essere rappresentato come una gerarchia di “concetti”, dai più semplici ai più astratti e complessi traendo vantaggio dalla struttura “gerarchica” della rete. La rappresentazione è “distribuita” in modo implicito a livelli.



Le reti neurali, potenza e limiti

- Il percepitrone può rappresentare solo funzioni lineari. Se però si considerano reti multi-strato, il potere espressivo aumenta notevolmente.
- Teorema di approssimazione universale:** Una rete feed-forward con uno strato nascosto e un finito numero di neuroni può approssimare con la desiderata precisione qualsiasi funzione continua.
- Teoricamente interessante, ma non dice nulla sulle modalità con cui configurare la rete neurale e su come applicare gli algoritmi di apprendimento per ottenere una buona approssimazione.
- Quali funzioni di uscita? Quanti neuroni? Quanti strati?
- Dagli anni '80 ad oggi sono stati sviluppati modelli sempre più dettagliati e complessi per i neuroni artificiali, sono state utilizzate funzioni, non lineari, diverse da quella a soglia (esempio la sigmoide), sono state identificate svariate architetture e modalità di connessione in rete, e sono stati sviluppati algoritmi di apprendimento sempre più sofisticati per modificare i pesi delle connessioni



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA