

Machine Learning

prof. Davide Maltoni



davide.maltoni@unibo.it



Definizioni

(da *Enciclopedia Treccani*)

- **Intelligenza**: 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.
- **Intelligenza artificiale**: **Riproduzione** parziale dell'attività intellettuale propria dell'uomo (con particolare riguardo ai processi di **apprendimento**, di **riconoscimento**, di **scelta**) realizzata o attraverso l'elaborazione di modelli ideali, o, concretamente, con la messa a punto di macchine che utilizzano per lo più a tale fine elaboratori elettronici.

Pensare, comprendere, elaborare → **Ragionare**

Ragionamento (1)

■ *Deduttivo* - Aristotele (384 aC – 322 aC)

Nel ragionamento deduttivo (o sillogismo) la verità delle premesse (*caso generale*) garantisce la verità della conclusione (*caso particolare*).

REGOLA ($C \rightarrow R$): Tutti gli uomini sono mortali

CASO (C_1): Socrate è un uomo

quindi

RISULTATO (R_1): Socrate è mortale

Il ragionamento deduttivo è il **fondamento di gran parte delle dimostrazioni e teoremi della matematica**, ... ma non ci permette di scoprire o prevedere fatti nuovi e quindi di ampliare le nostre conoscenze, compiendo un 'salto' dal noto all'ignoto.

Ragionamento (2)

- **Induttivo** - Francis Bacon (1561-1626) filosofo, e per quello sperimentale e scientifico, da Leonardo da Vinci (1452-1519) e Galileo Galilei (1564-1642) ... fino a Isaac Newton (1642-1727).

Nel ragionamento induttivo, diversamente da quello deduttivo, le premesse (*caso/i particolare/i*) forniscono un'evidenza più o meno forte a sostegno della conclusione (*generalizzazione*), ma non ne garantiscono necessariamente la verità.

I ragionamenti induttivi comportano quindi un rischio da cui sono esenti quelli deduttivi: possono portare da premesse vere a conclusioni false. Il ragionamento induttivo è quindi un ragionamento **probabilistico**, le cui conclusioni dipendono dal grado di probabilità delle informazioni contenute nelle premesse.

CASO (C_1): Socrate era un uomo

RISULTATO (R_1): Socrate morì

quindi

REGOLA ($C \rightarrow R$): Tutti gli uomini sono mortali

La forma più comune di ragionamento induttivo è la **generalizzazione**, con cui otteniamo informazioni su un gruppo di cose, persone, eventi, oggetti e così via, esaminando una porzione – o campione – di quel gruppo.

Ragionamento (2)

Una forma di «**induzione molto potente**» è il ragionamento per **Analogia**, che consiste nel trarre conclusioni su qualcosa in base alle sue somiglianze con qualcos'altro.

Questo permette agli esseri umani di:

- utilizzare **metafore**
- **astrarre** concetti «portandoli» da un dominio all'altro
- essere **creativi**

Esempi di **creatività artificiale**

- Inceptionism (*Google DeepDream*)
- Style transfer (vedi Cycle GAN [1] oppure [2][3])
- Comporre musica (es. *Melomics*)
- Scrivere articoli (es. *Automated Insights - Wordsmith*)
- Generare ricette di cucina (es. *IBM Watson - Bon Appetit*).
- ...

[1] <https://junyanz.github.io/CycleGAN/>

[2] <http://arxiv.org/pdf/1508.06576v1.pdf>

[3] <https://www.pyimagesearch.com/2018/08/27/neural-style-transfer-with-opencv>

Ragionamento (3)

■ *Abduttivo* - Charles Sanders Peirce (1839-1914).

Anche in questo caso il ragionamento è **probabilistico**, ma invece di generalizzare ci si muove «*lateralmente*», ipotizzando che un'implicazione valga anche al contrario.

REGOLA (**C** → **R**): Tutti gli uomini sono mortali

RISULTATO (**R**₁): Socrate morì

quindi

CASO (**C**₁): Socrate era un uomo

induzione per scienziati, l'abduzione per investigatori...

ragionamento di Sherlock Holmes e dr. House (cui interessa scoprire il caso in situazione di incertezza e non la regola generale).

Esempio (nel dominio del dr. House):

Deduzione:

Regola: Tutti i malati di lupus muoiono in cinque giorni

Caso: Questa persona ha il lupus

Risultato: Questa persona morirà entro cinque giorni

Induzione:

Caso: Questa persona ha il lupus

Risultato: Questa persona è morta dopo cinque giorni

Regola: Tutti i malati di lupus muoiono in cinque giorni

Abduzione:

Regola: Tutti i malati di lupus muoiono in cinque giorni

Risultato: Questa persona è morta dopo cinque giorni

Caso: Questa persona aveva il lupus

Intelligenza Artificiale e Machine Learning

- **Intelligenza Artificiale (AI)** è una disciplina molto vasta che copre diverse tematiche:
 - Trial and Error Search, Heuristics, Evolutionary computing
 - Knowledge Representation and Reasoning
 - Automated Theorem Proving
 - Expert Systems
 - Planning, Coordination and Manipulation
 - Intelligent Agents
 - Robotics
 - Automatic Programming
 - Natural Language Processing
 - Vision and Speech
 - **Machine Learning**

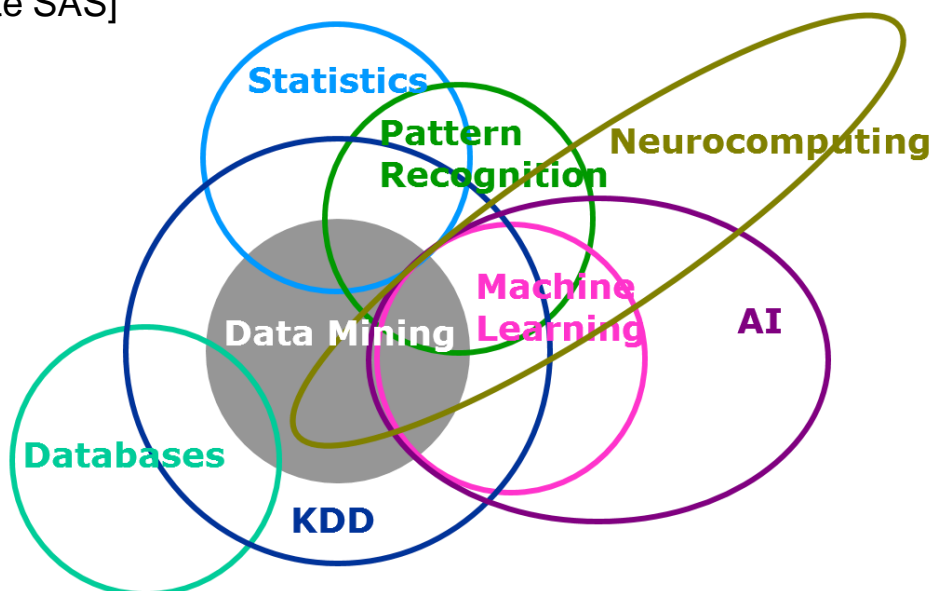
- **Machine Learning (ML)**
 - Un sistema di Machine Learning (apprendimento automatico) durante la fase di **training** apprende a partire da esempi (in modo più o meno supervisionato). Successivamente è in grado di **generalizzare** e gestire nuovi dati nello stesso dominio applicativo.
 - Più formalmente: *“impara dagli esempi a migliorare le proprie prestazioni per la gestione di nuovi dati provenienti dalla stessa sorgente”* (Mickey 91).

Perché Machine Learning ?

- **Machine Learning** è oggi ritenuto uno dei approcci più importanti dell'intelligenza artificiale.
- L'apprendimento è una componente chiave del ragionamento
- Apprendere → migliorare, evolvere
- Consente di gestire la complessità di applicazioni reali, talvolta troppo complesse per poter essere modellate efficacemente.
- Apprendere il comportamento desiderato dai dati/esempi forniti, semplifica lo sviluppo di applicazioni.
- Rende possibile esplorare/comprendere i dati (mining) senza la necessità di programmazione esplicita: **software 2.0** ?
- Addestramento *end-to-end* (es. guida automatica veicolo).
- Deep learning: superato stato dell'arte in molte applicazioni.

ML e altre discipline

[Fonte SAS]



Intelligenza artificiale e “forza bruta”

- **Brute-Force** (ricerca esaustiva): in alcuni domini applicativi un calcolatore è in grado di risolvere problemi in modo ottimo semplicemente enumerando e valutando tutte le possibili alternative. Possiamo parlare di intelligenza artificiale?
 - Es: problema delle **8 regine**; disporre sulla scacchiera 8 regine in modo tale che queste non possano catturarsi a vicenda. Facilmente risolvibile con approccio esaustivo (anche se esistono algoritmi molto più efficienti).
- Nella maggior parte dei casi però la valutazione esaustiva di tutte le possibili soluzioni non è computazionalmente gestibile, e si usano tecniche di ricerca **trial and error** che utilizzano **euristici** (*più o meno intelligenti*) per ridurre il numero di casi da valutare.
- Talvolta si utilizza il termine **Weak AI** (intelligenza artificiale debole) per caratterizzare sistemi capaci di risolvere (problem solvers) problemi complessi senza però capacità di ragionamento e comprensione.
- Una particolare famiglia di algoritmi denominata **Evolutionary Computing** (tra cui **Genetic Algorithms**) è oggetto di grande interesse nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale. Questi algoritmi (non trattati in questo corso) s'ispirano al principio di evoluzione degli esseri viventi.

The Imitation Game

- È il titolo di un film di successo del 2014 che narra, in chiave romanzesca, le vicende di **Alan Turing** (uno dei padri fondatori della moderna informatica). Presso Bletchley Park, durante la seconda guerra mondiale, Turing e collaboratori contribuirono a realizzare macchine e algoritmi per decifrare i codici crittografici utilizzati per lo scambio di messaggi tra Hitler e i generali tedeschi, dando un importante contributo alla vittoria degli alleati.

Turing si occupò anche di Intelligenza Artificiale, introducendo il famoso **Test di Turing** (o gioco di imitazione) da cui il film prende il nome.

Nella versione originale ci sono 3 partecipanti: un uomo **A**, una donna **B**, e una terza persona **C**. Quest'ultima è tenuta separata dagli altri due e tramite una serie di domande deve stabilire qual è l'uomo e quale la donna. Dal canto loro anche A e B hanno dei compiti: A deve ingannare C e portarlo a fare un'identificazione errata, mentre B deve aiutarlo. Se A è sostituito da un calcolatore «**intelligente**» la frequenza con cui C indovina deve essere la stessa.

Esistono numerose varianti, accomunate dal fatto di dover capire, attraverso una serie di domande, se si sta dialogando con un calcolatore o un essere umano.

Principale criticismo: accedendo all'immensa mole di informazioni disponibile on-line è possibile rispondere in modo «sensato» e apparentemente intelligente senza per forza esserlo.

Intelligenza artificiale e giochi

- Negli algoritmi di gioco su scacchiera quali **Dama** (Checkers), **Scacchi** (Chess):

Ogni possibile posizionamento dei pezzi sulla scacchiera è associato a uno «**score**». Alla vittoria si associa score $+\infty$, alla sconfitta $-\infty$.

Quando l'algoritmo deve muovere valuta tutte le possibili mosse a sua disposizione, le contromosse dell'avversario (assumendo giocatore ottimale), le sue mosse allo step successivo, e così via sempre più in profondità fino a fine partita.

Quando è possibile espandere tutti i cammini fino a fine partita, un semplice algoritmo noto come **minimax** [1] consente di scegliere sempre la mossa ottima.

Purtroppo (per giochi non banali) l'albero delle possibili alternative diventa troppo grande dopo pochi livelli di profondità, pertanto la valutazione dello score avviene prematuramente, e la scelta è solo «localmente» ottima.

Approcci euristici per il pruning di rami (es. **alpha-beta pruning** [1]) e tecniche di apprendimento automatico sono ampiamente utilizzati nelle moderne implementazioni.

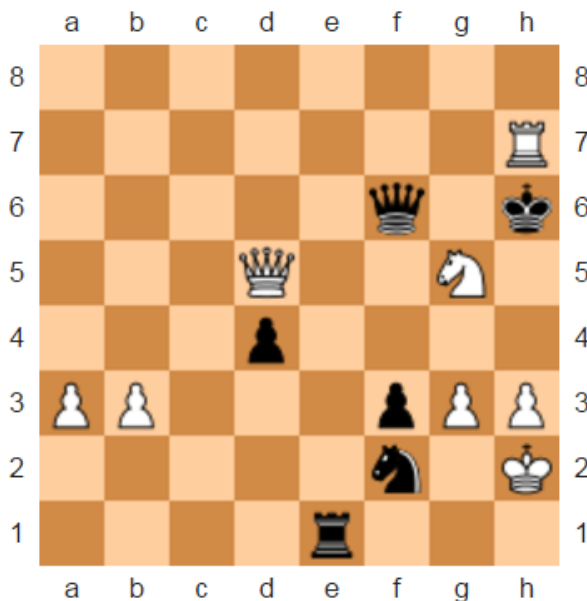
- **Arthur Samuel** sviluppò nel 1952 il primo algoritmo per il gioco della dama, e nel 1955 introdusse una prima versione in grado di apprendere [2].

[1] <https://www.cs.cornell.edu/courses/cs312/2002sp/lectures/rec21.htm>

[2] <http://webdocs.cs.ualberta.ca/~sutton/book/ebook/node109.html>

Deep Blue vs Kasparov

- **1997 - Deep Blue** (IBM) vince a scacchi contro il campione del mondo Garry Kasparov.
 - Hardware capace di calcolare lo score di 200 milioni di disposizioni sulla scacchiera al secondo. La potenza di calcolo (11.38 GFLOPs) molto rilevante all'epoca è inferiore a quella di un moderno smartphone.
 - Ricerca in profondità: media 6-8 livelli (i moderni motori di gioco vanno più in profondità grazie a capacità di calcolo + euristici sofisticati).
 - La valutazione dello score è complessa e caratterizzata da molti parametri: quanto è importante una posizione sicura per il re in confronto a un vantaggio spaziale nel centro della scacchiera? I valori ottimali per questi parametri furono poi determinati dal sistema stesso (**learning**), analizzando migliaia di partite di campioni.
 - La lista delle aperture fu fornita da campioni di scacchi.



1996 – Game 1
prima partita persa:
Kasparov (nero) si
ritira.

Watson in Jeopardy

- **2011** – **Watson** (IBM) vince al quiz televisivo Jeopardy.
 - **Jeopardy**, molto famoso negli USA, utilizza una modalità di gioco «a rovescio» rispetto ai quiz televisivi classici: invece di rispondere a domande, è necessario fornire domande alle risposte fornite.

Quiz: *Napoleone Bonaparte*

Possibile risposta: *Chi morì in esilio a Sant'Elena?*
 - Watson è un calcolatore (80 TFLOPs) dotato di software per l'elaborazione del linguaggio naturale, information retrieval, rappresentazione della conoscenza, ragionamento automatico, e tecnologie di apprendimento automatico nel campo dell'«**open domain question answering**» (risposte a domande a dominio aperto senza restrizioni sull'argomento).
 - Durante il quiz, Watson aveva accesso a 200 milioni di pagine di contenuti (**4 terabytes**) tutte caricate in RAM: enciclopedie (tra cui Wikipedia), dizionari, thesauri, tassonomie, ontologie (es. Wordnet) e articoli giornale.
 - Watson non era connesso a Internet (sarebbe stato in ogni caso troppo lento lanciare ricerche online).
 - Successo di Watson in ambito **diagnostica medica [1]**.
 - Annunciata nascita «Watson Health» a Milano negli spazi dell'Expo.

[1] <http://www.ibm.com/watson/watson-oncology.html>

Google DeepMind vince a Go

- 2016 – AlphaGo (Goggle) batte il campione Lee Sedol (9 dan).
- Go è un antico gioco cinese, con regole semplici ma molte più mosse possibili rispetto agli scacchi, cosa che richiede più intuizione e lo rende più difficilmente suscettibile ad approcci forza bruta.
- Mentre Deep Blue usa strategie di ricerca in profondità ed euristici, AlphaGo è basato principalmente su tecniche di **machine learning**.
- Inizialmente sono addestrate in modo supervisionato due **deep neural network**, cercando di imitare le mosse di professionisti a partire da partite memorizzate e rese disponibili dai Go Server su Internet (30 milioni di mosse).
- Poi il sistema gioca milioni di partite contro sé stesso utilizzando **reinforcement learning** per migliorare la strategia.
- Nella partita finale utilizza 1202 CPU e 176 GPU.



Machine Learning e Videogames

- **2013** – **Deepmind** (Goggle) dimostra la possibilità di apprendere abilità super-human in numerosi giochi arcade della vecchia console **Atari**.

La cosa più sorprendente è che l'input è costituito da uno stream di dati grezzi (sequenze di pixel maps).



- **2017** – **OpenAI** sviluppa con tecniche di ML un bot capace di battere il professional gamer Dendy al gioco **Dota 2** (genere MOBA: **m**ultiplayer **o**nline **b**attle **a**rena).



Principale criticismo: non si tratta di gioco RTS (real-time strategy) e competizione solo in modalità 1v1 (e non 5v5).

Calcio e Robotica

- **1997-2050** – **RoboCup** è una sfida realizzata a partire dal 1997 con l'obiettivo di realizzare, entro il 2050, una squadra di robot umanoidi autonomi in grado di sfidare e, possibilmente, battere la squadra di calcio campione del mondo.

Siamo ancora un po' lontani ...

<https://www.youtube.com/watch?v=iNLcGqbhGcc>

Robot **NAO**
disponibile per tesi



- Più in generale per il settore della robotica prestazioni ancora «**scadenti**» nell'esecuzione di compiti che richiedono autonomia e interazione con ambienti sconosciuti.

DARPA Challenge 2015:

<https://www.youtube.com/watch?v=8P9geWwi9e0>

Ma grandi passi avanti nella meccanica, elettronica e controllo:

Atlas - Boston Dynamics:

<https://www.bostondynamics.com/atlas>



Le stagioni dell'Intelligenza Artificiale

■ 1940-1974 – La nascita e gli anni d'oro

- Primi calcolatori elettronici (relè e valvole termoioniche) nascono in epoca II guerra mondiale.
- Teoria della computazione di Turing e Test di Turing.
- Teoria dell'Informazione di Shannon.
- Neuroni artificiali (McCullock and Pitts, 1943).
- Nascita ufficiale e conio del nome al Dartmouth Workshop (1956). Tra i pionieri: McCarthy, Minsky, Shannon, Newell, Simon.
- Primi importanti risultati nell'ambito del symbolic reasoning, del problem solving (es. GPS), del natural language processing (es. Eliza).
- Grande entusiasmo e predizioni **troppo ottimistiche**
1970, Marvin Minsky: *In from three to eight years we will have a machine with the general intelligence of an average human being.*

■ 1974-1980 – Il primo inverno

- Risultati non all'altezza delle aspettative, drastica riduzione dei finanziamenti.
- **Problemi:** scarsa capacità computazionale, esplosione combinatoria e non trattabilità, dataset di piccole dimensioni.
- Ridimensionamento dell'approccio connessionistico (reti neurali).

... continua

■ 1980-1987 – Nuova primavera

- Nascita dei sistemi esperti: conoscenza + regole logiche.
- Nuova linfa alle reti neurali dall'algoritmo Backpropagation (Rumelhart, Hinton & Williams 1986).
- Finanziamento governo Giapponese per la Quinta Generazione di Calcolatori: i calcolatori «intelligenti».

■ 1987-1993 – Il secondo inverno

- Flop «Quinta generazione». Nuovo stop finanziamenti.
- Hardware specializzato non più competitivo con PC, calo business.
- Risultati concreti dei sistemi esperti solo in campi specifici.
- Reti neurali non scalano a problemi complessi.

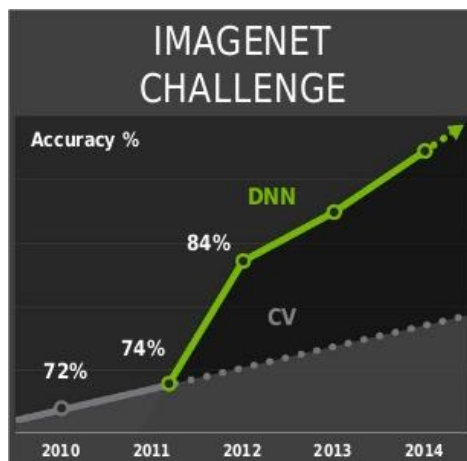
■ 1993-2011 – Tempi moderni

- Hardware sempre più potente.
- Bayesian Networks, Intelligent Agents.
- Classificatori robusti (SVM), Multi-classificatori (Random Forest, Adaboost)
- Hidden Markov Models (HMM).
- Maturità tecniche di feature extraction (hand-crafted) in diversi domini, (es. SIFT, Dictionaries & Bag of Words).
- Deep Blue, Watson, Darpa Grand Challenge (guida automatica).
- Successi in numerose discipline: visione, sistemi biometrici, riconoscimento del parlato, robotica, guida automatica, diagnosi mediche, data mining, motori di ricerca, videogames.

... continua

■ 2011-oggi – Deep learning

- CNN (Convolutional Neural Network) introdotte da Yan LeCun nel 1989, ma risultati inferiori ad altre tecniche: mancavano due ingredienti fondamentali, **big data** & **potenza calcolo**, grazie ai quali è possibile addestrare reti con molti livelli (**deep**) e milioni di parametri.
- Nel 2012 **rivoluzione** in **Computer Vision**: una CNN denominata **AlexNet** vince (con ampio margine) **ImageNet challenge**: object classification and detection su milioni di immagini e 1000 classi.



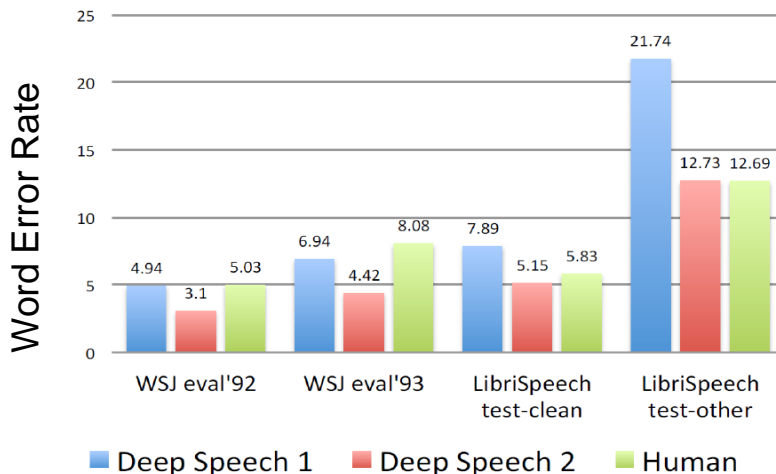
- Google acquisisce la tecnologia, ingaggia gli autori (Goffrey Hinton + Alex Krizhevsky: Univ. Toronto) e in sei mesi la incorpora nei propri prodotti (es. Google – Immagini, Street view).



... continua

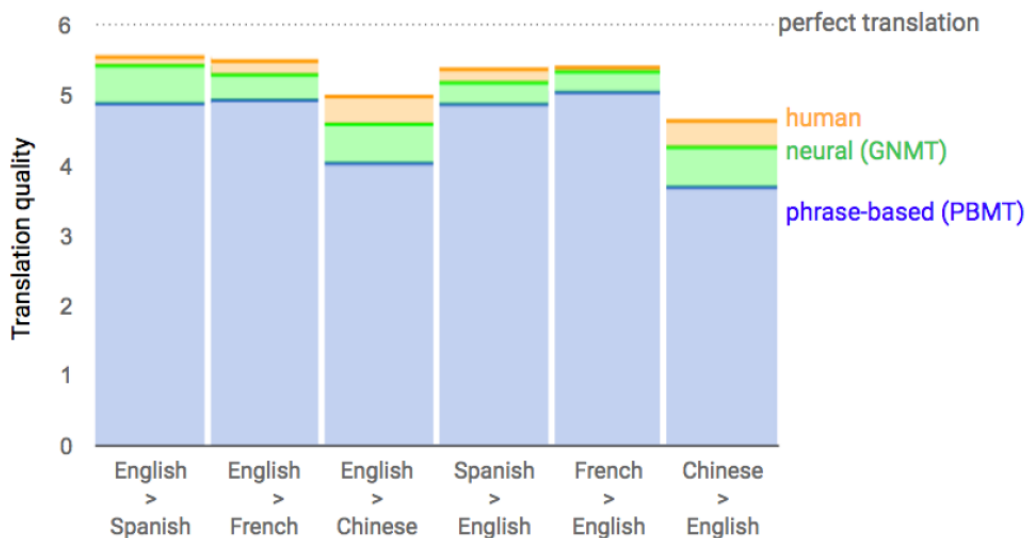
- 2016 - **Speech Recognition** (es: Siri, Google Now...) in lingua inglese ha oramai raggiunto e superato prestazioni umane (ref. Baidu - Deep Speech 2).

> 10,000 ore di parlato (milioni di utenti) per il training



- 2016 - **Language Translation** per alcune lingue eguaglia prestazioni umane (ref. Google - Neural Machine Translation System).

- 36 milioni di coppie di frasi per il training



... continua

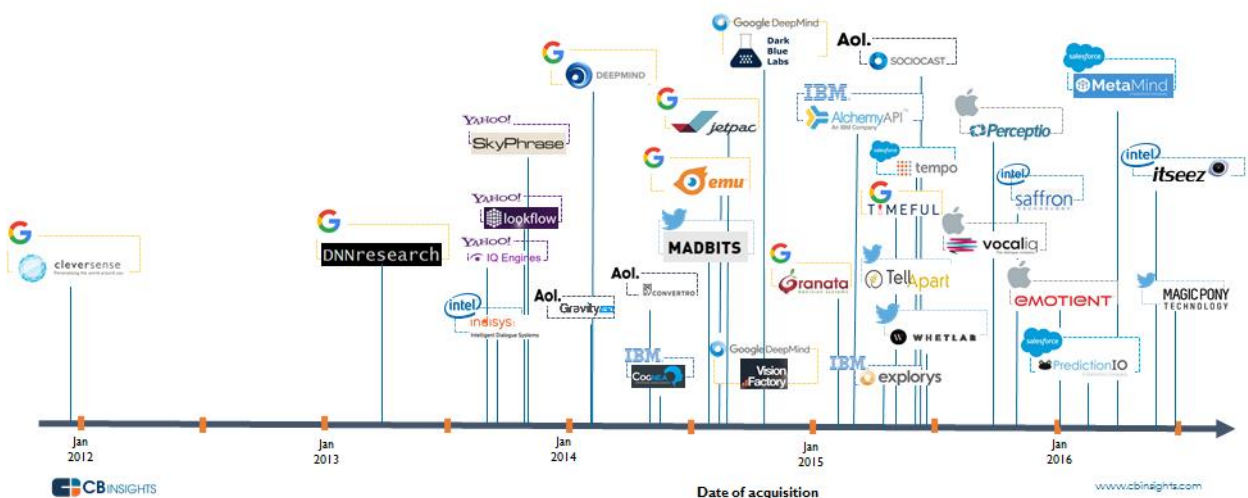
■ A partire dal 2011, tecniche di deep learning **raggiungono e superano** lo stato dell'arte in molteplici applicazioni:

- Object detection and localization (es. **Yolo**)
- Face Recognition, Pedestrian Detection, Traffic Sign Detection
- Speech Recognition, Language Translation
- Natural Language Processing
- Medical Image analysis (es. **CheXnet**)
- Autonomous Car (es. **PilotNet**) and Drones (es. **TrailNet**)
- Recommendation systems

■ I big dell'ICT (Microsoft, Apple, Facebook, Google, Amazon, Baidu, IBM, Nec, Samsung, Yahoo, ...) investono molto nel settore **reclutando talenti** e **acquisendo** start-up. Negli USA la migrazione da Accademia ad aziende (*grab of talents*) è per alcuni piuttosto preoccupante:

- G. Hinton, A. Krizhevsky (Toronto) → Google
- Y. LeCun, M. Ranzato (New York) → Facebook
- A. Ng, A. Coates (Stanford) → Baidu
- A. Karpathy (Stanford, OpenAI) → Tesla

Race For AI: Most Active Acquirers In Artificial Intelligence



Machine Learning raccontato da ...

- The wonderful and terrifying implications of computers that can learn



Jeremy Howard (TED talk) is an entrepreneur, business strategist, developer, and educator. He is the youngest faculty member at **Singularity University**, where he teaches data science. Previously he was the President and Chief Scientist of **Kaggle**, a community and competition platform for over 150,000 data scientists.

https://www.ted.com/talks/jeremy_howard_the_wonderful_and_terrifying_implications_of_computers_that_can_learn

- How we're teaching computers to understand pictures



Fei Fei Li (TED talk). As Director of **Stanford's** Artificial Intelligence Lab and Vision Lab, Fei-Fei Li is working to solve AI's trickiest problems — including image recognition, learning and language processing.

https://www.ted.com/talks/fei_fei_li_how_we_re_teaching_computers_to_understand_pictures

Technological Singularity

- Una **singolarità tecnologica** è un punto, previsto nello sviluppo di una civilizzazione, dove il progresso tecnologico accelera oltre la capacità di comprendere e prevedere degli esseri umani moderni:
 - dal momento in cui sarà realizzato il primo calcolatore più intelligente dell'uomo si assisterà a uno sviluppo esponenziale, potendo delegare la progettazione di nuovi sistemi ai sistemi stessi (che operano, con feedback positivo, senza fatica 24 ore su 24!).
 - *“la prima macchina ultra-intelligente sarà l'ultima invenzione che l'uomo avrà la necessità di fare”*, I.J. Good, 1965.

- Fantascienza o realtà?

- La **legge di Moore** e l'evoluzione tecnologica
- Già disponibili super-computer con “raw computing power” superiore a quello del cervello umano (stimato in 10-100 PetaFlops).
- Raw computing power non significa però intelligenza!
- Reverse-engineering del cervello umano e neuroscienze computazionali. L'algoritmo della corteccia cerebrale ancora sconosciuto (lettura consigliata: **“On Intelligence”**, J. Hawking & S. Blakeslee, 2004).
- Mind-uploading e transumanesimo.

Alcune startup già ci speculano:

<https://www.technologyreview.com/s/610456/a-startup-is-pitching-a-mind-uploading-service-that-is-100-percent-fatal/>

The Singularity is Near

- È il titolo di un libro del 2006 scritto dall'inventore e futurista **Ray Kurzweil**
 - Oltre all'Intelligenza Artificiale, sempre più importanti nel futuro saranno: Genetic Engineering (Biotecnologie), Nanotecnologie e Robotica.
 - Assegna ruolo rilevante alle Neuroscienze, e sviluppo di sistemi ibridi.
 - Kurzweil ipotizza singolarità intorno al **2045**.
- **Get ready for hybrid thinking ?**



Ray Kurzweil (TED talk). Kurzweil invented the first optical character recognition (OCR) software, the first print-to-speech software for the blind, the first text-to-speech synthesizer, the first music synthesizer for piano, and the first commercially marketed large-vocabulary speech recognition.

In 2009, he unveiled **Singularity University**, an institution that aims to "assemble, educate and inspire leaders who strive to understand and facilitate the development of exponentially advancing technologies." He is a Director of Engineering at Google, where he heads up a team developing machine intelligence and natural language comprehension.

https://www.ted.com/talks/ray_kurzweil_get_ready_for_hybrid_thinking?language=en

Dobbiamo preoccuparci?

- Alcuni personaggi famosi lo sono:

Stewen Hawkins (cosmologo a Cambridge), Elon Musk (Tesla motors), Bill Gates (Microsoft), Steve Woskiak (co-fondatore Apple).

The development of full artificial intelligence could spell the end of the human race - Stewen Hawkins

- **2015, Open Letter on Artificial Intelligence:** scritta e firmata da numerosi personaggi illustri (Hawkins, Musk, ..., Hinton, Bengio, LeCun, ...Bostrom) che raccomandano di dedicare fin da ora risorse allo studio del problema del “controllo” di super-intelligenze artificiali da parte dell’uomo.

- What happens when our computers get smarter than we are?



Nick Bostrom (TED talk). Since 2005, Bostrom has led the **Future of Humanity Institute**, a research group of mathematicians, philosophers and scientists at Oxford University tasked with investigating the big picture for the human condition and its future. He has been referred to as one of the most important thinkers of our age.

https://www.ted.com/talks/nick_bostrom_what_happens_when_our_computers_get_smarter_than_we_are