

Machine Learning

Lezione 0 - Introduzione

Loris Cannelli, Ricercatore, IDSIA-SUPSI
loris.cannelli@supsi.ch

IDSIA-SUPSI, Polo universitario Lugano - Dipartimento Tecnologie Innovative

Definizioni

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

- Deduttivo - Aristotele (384 a.c. - 322 a.c.)

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

- ▶ 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

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 (*GoogleDeepDream*)
- ▶ Style transfer (es. 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*)
- ▶ ecc.

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

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

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

Ragionamento

- ▶ **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 ($C \rightarrow R$): Tutti gli uomini sono mortali

RISULTATO (R_1): Socrate morì
quindi

CASO (C_1): Socrate era un uomo

Induzione per scienziati, abduzione per investigatori...

Il modo di ragionare 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**

Intelligenza Artificiale e Machine Learning

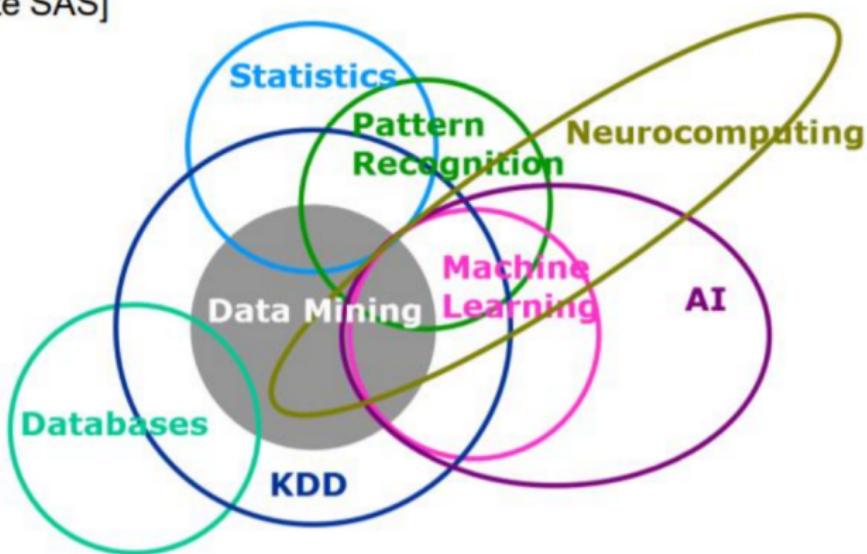
- ▶ Machine Learning (ML)
 - ▶ Un sistema di Machine Learning (apprendimento automatico) durante la fase di **training** apprende a partire da esempi (in modo più o meno supervisionato). Successivamente è in grado di **generalizzare** e gestire nuovi dati nello stesso dominio applicativo
 - ▶ Più formalmente: "*impara dagli esempi a migliorare le proprie prestazioni per la gestione di nuovi dati provenienti dalla stessa sorgente*" [Mickey 1991]

Perché Machine Learning?

- ▶ **Machine Learning** è oggi ritenuto uno degli 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 del veicolo)
 - ▶ Deep learning: superato lo stato dell'arte in molte applicazioni

Perché Machine Learning?

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 euristiche (*più o meno intelligenti*) per ridurre il numero di casi da valutare

Intelligenza Artificiale e “forza bruta”

- ▶ Talvolta si utilizza il termine **Weak AI** (intelligenza artificiale debole) per caratterizzare sistemi capaci di risolvere problemi complessi senza però capacità di ragionamento e comprensione (problem solvers)
- ▶ Una particolare famiglia di algoritmi denominata **Evolutionary Computing** (tra cui i **Genetic Algorithms**) è oggetto di grande interesse nell'ambito dell'intelligenza artificiale. Questi algoritmi (non trattati in questo corso) si ispirano al principio di evoluzione degli esseri viventi

Machine Learning e Giochi

- ▶ 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

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

Machine Learning e Giochi

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

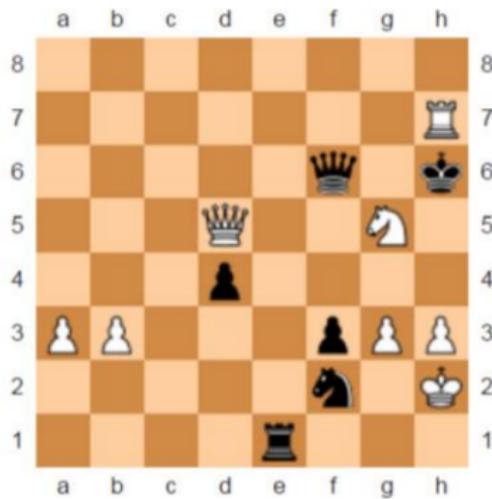
[1] <https://www.cs.cornell.edu/courses/cs312/2002sp/lectures/rec21.htm>

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 + euristiche sofisticate)

Deep Blue vs Kasparov

- ▶ 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



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 proposte
 - 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)

Watson in Jeopardy

- ▶ Durante il quiz, Watson aveva accesso a 200 milioni di pagine di contenuti (**4 terabytes**) tutte caricate in RAM: encyclopedie (tra cui Wikipedia), dizionari, thesauri, tassonomie, ontologie (es. Wordnet) e articoli di giornale
- ▶ Watson non era connesso a Internet (sarebbe stato in ogni caso troppo lento lanciare ricerche online)
- ▶ Successo di Watson anche 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 (Google) 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 “brute-force”
 - ▶ Mentre Deep Blue usa strategie di ricerca in profondità ed euristiche, 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)

Google DeepMind vince a Go

- ▶ Poi il sistema gioca milioni di partite contro se stesso utilizzando [reinforcement learning](#) per migliorare la strategia
- ▶ Nella partita finale utilizza 1202 CPU e 176 GPU



Machine Learning e Videogames

- 2013 - DeepMind (Google) dimostra la possibilità di apprendere abilità super-human in numerosi giochi arcade della vecchia console Atari



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

Machine Learning e Videogames

- ▶ 2017 - OpenAI sviluppa con tecniche di ML un bot capace di battere il professional gamer Dendy al gioco DOTA 2 (genere MOBA: Multiplayer Online Battle Arena)



Figure: Principale criticismo: non si tratta di gioco RTS (Real-Time Strategy) e competizione solo in modalità 1v1 (e non 5v5)

- ▶ 2019 - DeepMind successo di AlphaStar in StarCraft II

[https://deepmind.com/blog/article/
alphastar-mastering-real-time-strategy-game-starcraft-ii](https://deepmind.com/blog/article/alphastar-mastering-real-time-strategy-game-starcraft-ii)

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 abbastanza lontani...

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

Calcio e Robotica

- ▶ Più in generale, nel 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

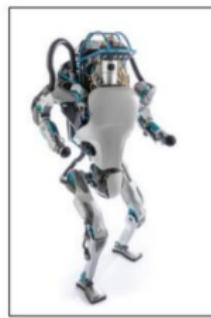


Figure: Atlas - Boston Dynamics

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

<https://www.youtube.com/watch?v=fRj34o4hN4I>

Machine Learning e Medicina



Le stagioni del Machine Learning

- ▶ **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 (McCulloch 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*

Le stagioni del Machine Learning

- ▶ **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)

Le stagioni del Machine Learning

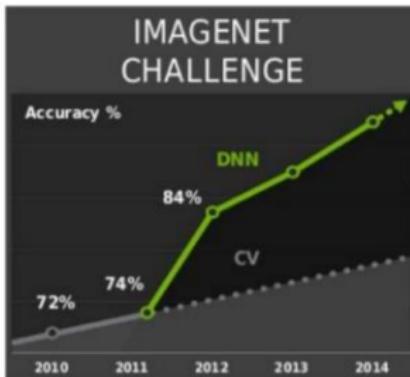
- ▶ 1980-1987 - Nuova primavera
 - ▶ Nascita dei sistemi esperti: conoscenza + regole logiche
 - ▶ Nuova linfa alle reti neurali dall'algoritmo Backpropagation (Rumelhart, Hinton & Williams, 1986)
 - ▶ Finanziamento governo Giapponese per la Quinta Generazione di Calcolatori: i calcolatori “intelligenti”
- ▶ 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 su problemi complessi

Le stagioni del Machine Learning

- ▶ 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

Le stagioni del Machine Learning

- ▶ 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 di 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



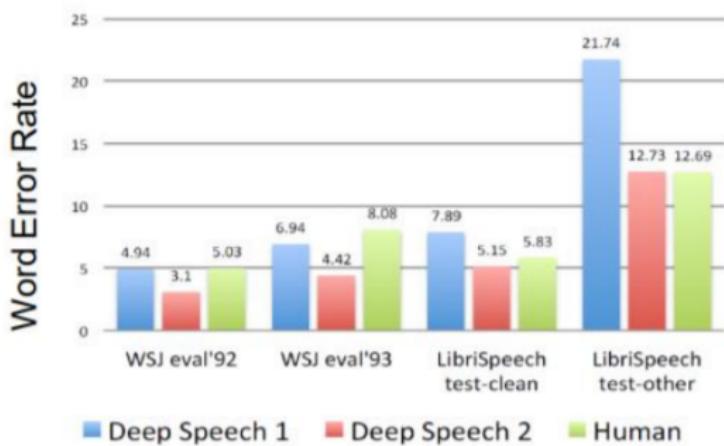
Le stagioni del Machine Learning

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



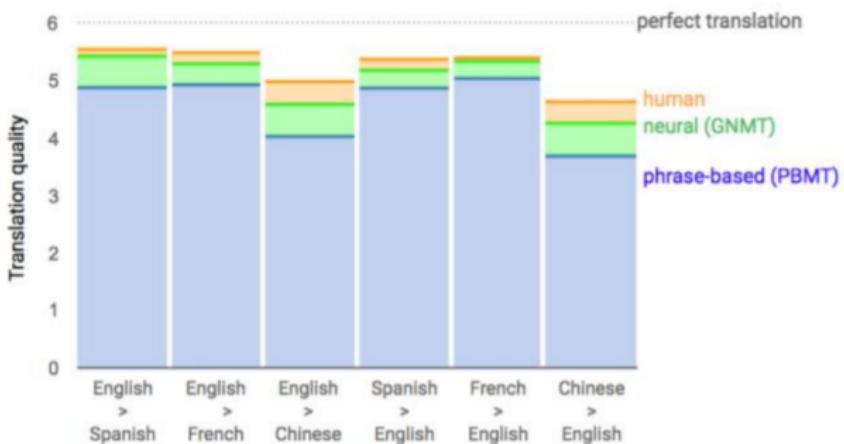
Le stagioni del Machine Learning

- ▶ **2016 - Speech Recognition** (es. Siri, Google Now, ecc.) in lingua inglese ha ormai raggiunto e superato prestazioni umane (ref. Baidu - Deep Speech 2)
⇒ *10000 ore di parlato (milioni di utenti) per il training*



Le stagioni del Machine Learning

- ▶ 2016 - Language Translation per alcune lingue eguaglia prestazioni umane (ref. Google - Neural Machine Translation System)
⇒ 36 milioni di coppie di frasi per il training

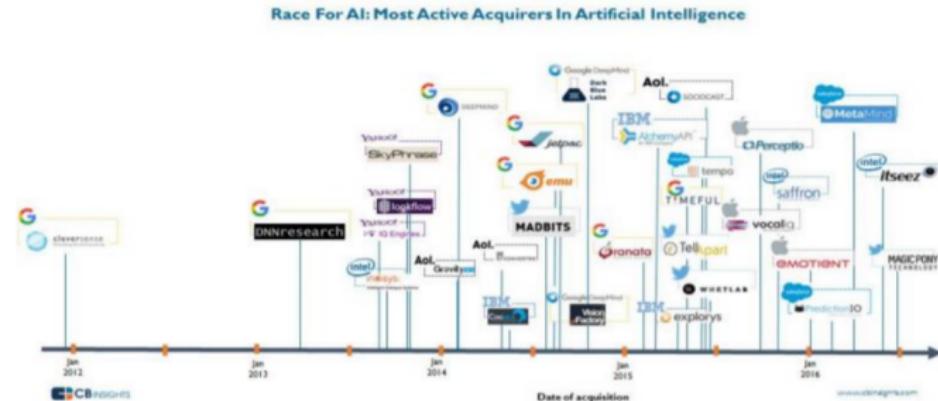


Le stagioni del Machine Learning

- ▶ 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
 - ▶ Arts (es. **Deep Dream, Style Transfer**)

Le stagioni del Machine Learning

- ▶ I big dell'ICT (Microsoft, Apple, Facebook, Google, Amazon, Baidu, IBM, Nec, Samsung, Yahoo, ecc.) 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) → (ex) Baidu
 - ▶ A. Karpathy (Stanford, OpenAI) → Tesla



Le stagioni del Machine Learning

Ricercatori e specialisti del settore sono molto richiesti e ben pagati [New York Times, 2018]

- ▶ AI specialists with little or no industry experience can make between \$300,000 and \$500,000 a year in salary and stocks. Top names can receive compensation packages that extend into the millions
- ▶ At DeepMind, a London AI lab now owned by Google, costs for 400 employees totaled \$138 million in 2016, according to the company's annual financial filings in Britain. That translates to \$345,000 per employee, including researchers and other staff
- ▶ OpenAI paid its top researcher, Ilya Sutskever, more than \$1.9 million in 2016. It paid another leading researcher, Ian Goodfellow, more than \$800,000 - even though he was not hired until March of that year. Both were recruited from Google

C'è ancora lavoro da fare?

Tuttavia, creare sistemi di Machine Learning non è assolutamente banale



<https://xkcd.com/1838/>

- ▶ E' necessaria una grande quantità di dati da analizzare, la quale va collezionata tenendo in mente l'obiettivo da realizzare
- ▶ E' difficile decidere come strutturare il modello di Machine Learning con il quale si vuole lavorare, sia dal punto di vista matematico che da quello probabilistico
- ▶ E' difficile valutare e migliorare modelli di Machine Learning che, teoricamente, vorrebbero replicare il comportamento del mondo reale