

Alessio Micheli

Maria Simi

a.a. 2021/2022

Codice: 586AA

CFU: 6

Semestre: II

Introduzione all'Intelligenza Artificiale

Intelligenza Artificiale: una doppia sfida

L'Intelligenza Artificiale si occupa della

1. comprensione
2. riproduzione

del comportamento *intelligente*.

L'intelligenza può riguardare:

1. Le sole facoltà mentali (il ragionamento)
2. L'azione umana in senso più ampio.

L'IA come scienza empirica

L'approccio della psicologia cognitiva:

Obiettivo: comprensione dell'intelligenza umana

Metodo: costruzione di modelli computazionali,
verifica sperimentale

Criterio di successo:

risolvere i problemi con gli
stessi processi usati dall'uomo

L'IA come disciplina informatica

L'approccio “costruttivo”:

Obiettivo: costruzione di entità dotate di *razionalità*

Metodo: codifica del pensiero razionale;
comportamento razionale

Criterio di successo:

l'importante è risolvere i
problemi che richiedono intelligenza

Definizioni di IA

	umanamente	razionalmente
pensare	<p><i>“[L’automazione delle] attività che associamo al pensiero umano, come il processo decisionale, la risoluzione di problemi, l’apprendimento ...”</i></p> <p>[Bellman 1978]</p>	<p><i>“Lo studio delle facoltà mentali attraverso l’uso di modelli computazionali”</i></p> <p>[Charniak, McDermott, 1985]</p>
agire	<p><i>“L’arte di creare macchine che svolgono funzioni che richiedono intelligenza quando svolte da esseri umani”</i></p> <p>[Kurzweil 1990]</p>	<p><i>“Il ramo della scienza dei calcolatori che si occupa dell’automazione del comportamento intelligente”</i></p> <p>[Luger-Stubblefield 1993]</p> <p><i>“L’impresa di costruire artifatti intelligenti”</i> [Ginsberg 1993]</p>

Da “Strategic directions ... [1996]”

Il settore dell’IA consiste nell’indagine tecnologica e intellettuale, a lungo termine, che mira al raggiungimento dei seguenti obiettivi scientifici e pratici:

- costruzione di macchine intelligenti, sia che operino come l’uomo che diversamente;
- formalizzazione della conoscenza e meccanizzazione del ragionamento, in tutti i settori di azione dell’uomo;
- comprensione mediante modelli computazionali della psicologia e comportamento di uomini, animali e agenti artificiali;
- rendere il lavoro con il calcolatore altrettanto facile e utile che del lavoro con persone, capaci, cooperative e possibilmente esperte.

[da *Strategic Directions in Artificial Intelligence*, ACM 1996]

I fondamenti dell'IA [AIMA – Cap 1]

- Filosofia
- Matematica
- Economia
- Neuroscienze
- Psicologia
- Informatica
- Teoria del controllo e cibernetica
- Linguistica

Question time

- Quindi ... prendiamo per buona questa definizione:

L'arte di creare macchine che svolgono funzioni che richiedono intelligenza quando svolte da esseri umani

[Kurzweil 1990]

- Ma cosa significa “intelligente”?
- Provate a dare la vostra definizione ...

... vedere anche

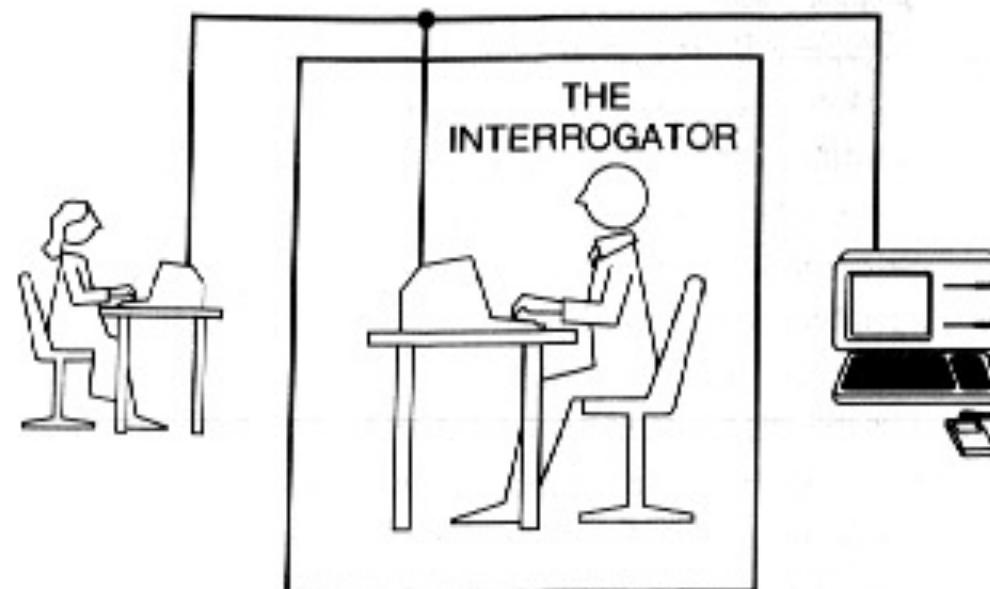
- *A collection of definitions of intelligence*, Shane Legg, Marcus Hutter, 2007 [<https://arxiv.org/abs/0706.3639>]
- Settanta definizioni di intelligenza, di cui 35 fuori dal settore AI.
- Qualità intrinseca o comportamento?
- Difficile arrivare ad una definizione condivisa e completa perché esistono diversi tipi di “intelligenza”.

Che tipo di capacità?

- Capacità di simulare il comportamento umano?
- Capacità di ragionamento logico/matematico?
- Intelligenza come competenza “da esperto”?
- Intelligenza come “buon senso” (*common sense*)?
- Capacità di interagire efficacemente con un ambiente?
- Capacità sociali, di comunicazione e coordinamento?
- Capacità di comprendere e provare emozioni? (*intelligenza emozionale*)
- Capacità di “immagazzinare” esperienza? Apprendere?
- Creatività?

Capacità di imitazione dell'uomo?

Il test di Turing (1950): un tentativo di definizione operativa di intelligenza



[“Can machine think?, *Computing machines and Intelligence*, 1950]

Le previsioni di Turing

“Credo che tra circa 50 anni sarà possibile programmare computer con una memoria di un miliardo di byte in maniera tale che essi giochino il gioco dell’imitazione tanto bene che una persona comune non avrà più del 70% di probabilità di identificarli dopo 5 minuti di interrogazione”

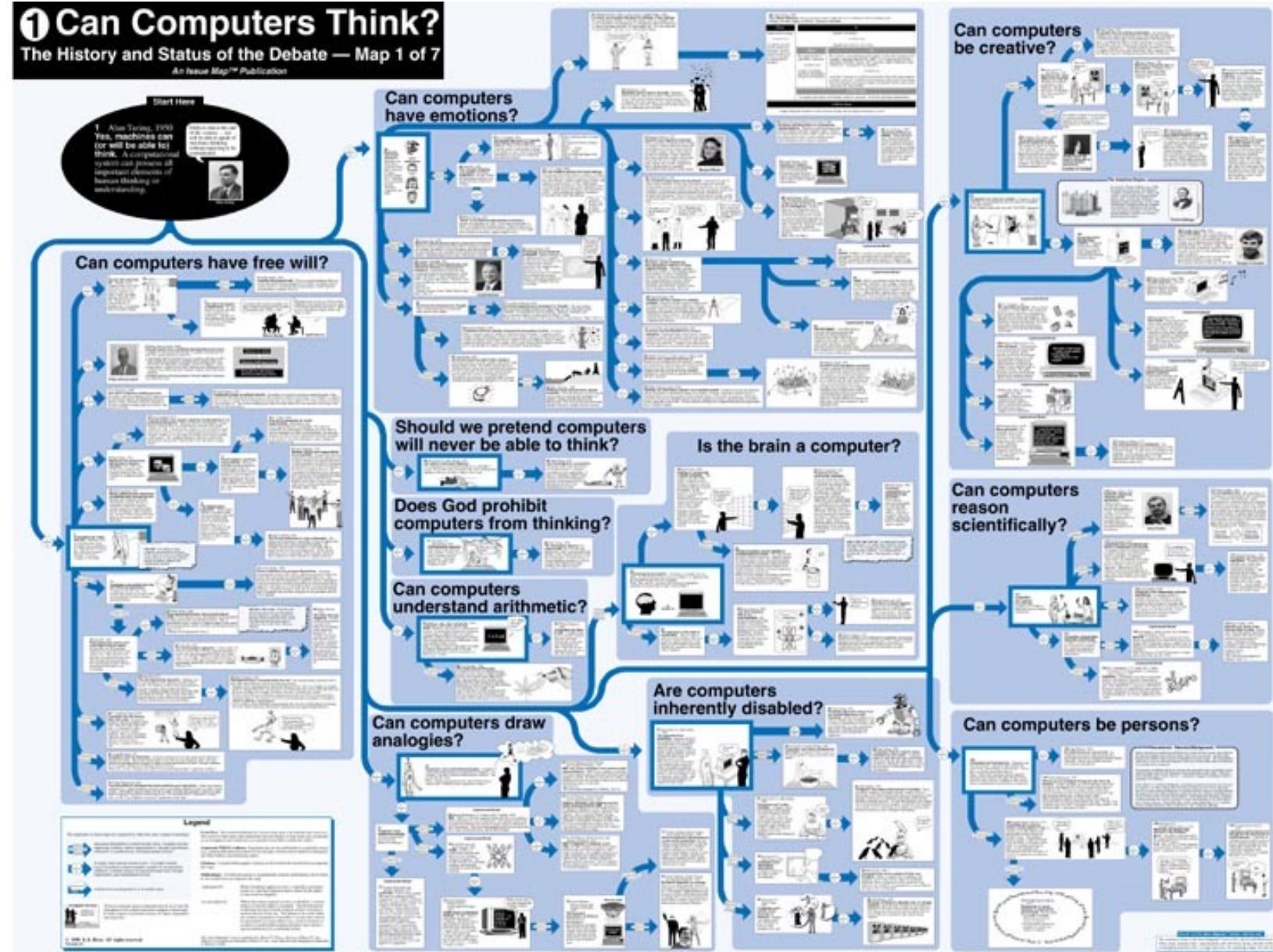
[Computing machinery and intelligence, Turing 1950]

Obiettivo raggiunto?

- Eugene Goostman, test presso University of Reading, giugno 2014.
- Autori: Vladimir Veselov, Eugene Demchenko.
- Eugene simula un ragazzo ucraino di 13 anni in maniera credibile ed è riuscito ad ingannare più del 30% dei giudici.
- Molto rumore nella stampa, molte reazioni scettiche

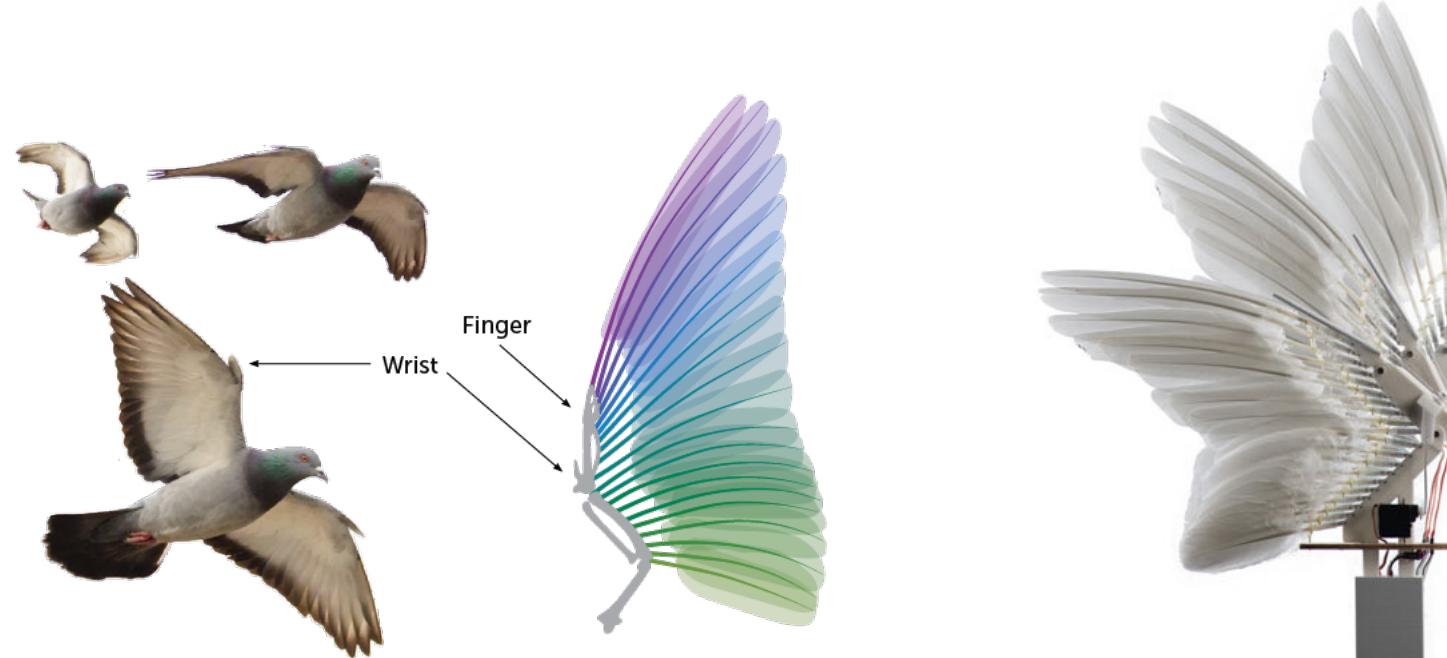
Un grande dibattito

Robert Horn's debate map



Volare come un piccione?

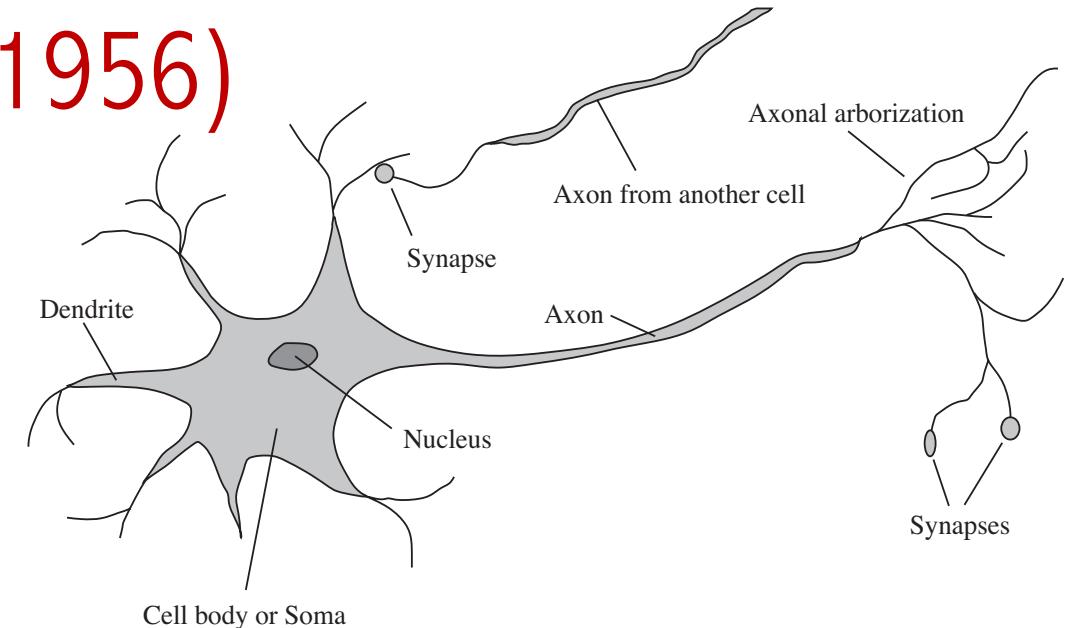
Sarebbe come se gli ingegneri aeronautici definissero il loro obiettivo come “*creare delle macchine in grado di volare come piccioni, in maniera così perfetta da ingannare gli altri piccioni*”



https://www.youtube.com/watch?v=NjN7nXVBiwk&feature=emb_rel_end

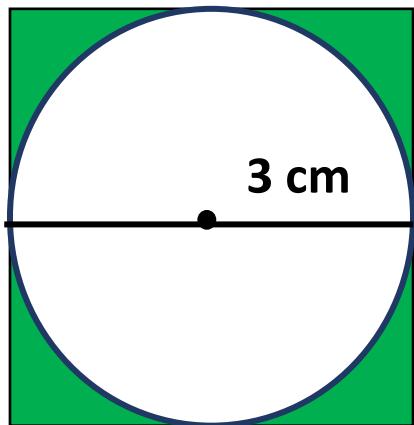
Breve storia: gli inizi (1943-1956)

- McCulloch & Pitts (1943): il primo lavoro sulle reti Neurali; Hebb (1949)
- Conferenza di Dartmouth (1956)
 - Viene coniato il termine “Intelligenza Artificiale”
 - Presenti tutti i big: Minsky, McCarthy, Shannon, Samuel ... (10 persone per due mesi)
 - Logic Theorist (Newell & Simon)



Capacità di ragionamento simbolico

Calcolo dell'area verde:



Calcolo numerico:

$$(2 * 3) ^\star 2 - 3.14 * 3 ^\star 2 = 7,74$$

Algebra simbolica:

$$(2r)^2 - \pi r^2 = 4r^2 - \pi r^2 = (4 - \pi)r^2$$

Linguaggio:

If Mary loves Pat, then Mary loves Quincy.

If it is Monday and raining, then Mary loves Pat or Quincy.

If it is Monday and raining, does Mary love Quincy?

Trasposizione in logica:

$$p \Rightarrow q$$

$$m \wedge r \Rightarrow p \vee q$$

Dimostrazione:

$$m \wedge r \Rightarrow q \vee q$$

$$m \wedge r \Rightarrow q$$

Giocare a dama o a scacchi

- Le previsioni:
 - Newell e Simon 1957: tra 10 anni le macchine saranno dichiarate campioni del mondo di scacchi ...
 - Dreyfus anni '60: una macchina non sarà mai in grado di giocare a scacchi
[Che cosa non possono fare i computer]
- Com'è andata a finire?

Il racconto [*da 'Macchine come noi', O. Stock*]

*New York, Settima strada, 11 maggio
1997.*

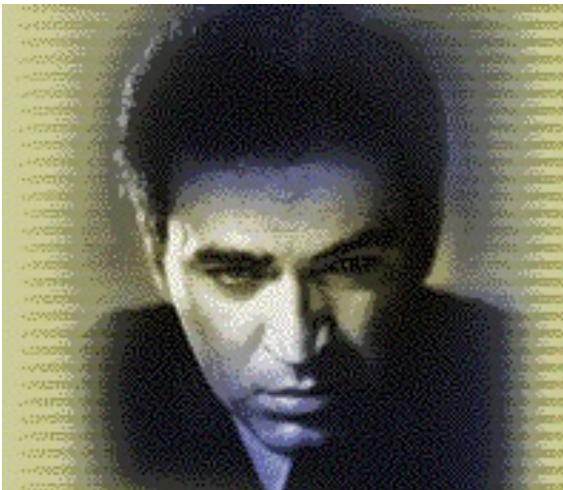
*Sta per concludersi una partita a
scacchi formidabile, forse la più seguita
di tutti i tempi.*

In palio oltre un miliardo di lire.

*Quello con la testa tra le mani e lo
sguardo corruggiato è il campione
Gary Kasparov, 34 anni, il più grande
giocatore di tutti i tempi ...*



Giocare a scacchi



- 1997: Deep Blue, sconfigge il campione mondiale di scacchi, Kasparov
- Deep Blue, computer IBM Risk 2000 ...
 - riesce a valutare 200 milioni di mosse al secondo
 - conosce 600.000 aperture di partita

... ma è davvero “intelligente”?

- Fortuna?
- Vantaggio psicologico?
 - Contromosse di Deep Blue pressoché immediate
 - Kasparov come “speranza del genere umano”
- Forza bruta?
 - 36 miliardi di posizioni in 3 minuti
- Deep Junior vs Michele Godona (IRST, 2004)

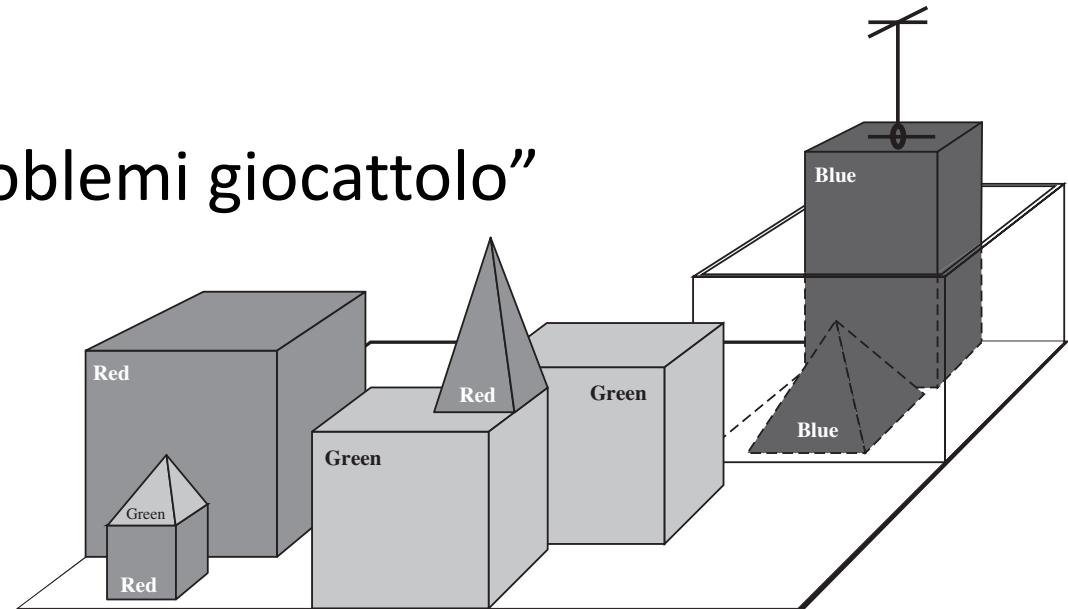
Dimostrare teoremi

- Simon, Newell, Shaw 56: Logic theorist
- Newell e Simon 57: General Problem Solver
- Gelenter: Geometry Theorem Prover (geometria Euclidea)
- Slagel 61: Saint (analisi infinitesimale)
- Evans 63: Analogy (test di intelligenza)
- Bobrow : Student (algebra)

Grandi aspettative (1956 -1969)

Non solo dimostrazione di teoremi ...

- Samuel e la dama (con apprendimento)
- Lisp, *time-sharing*
- Advice Taker (McCarthy)
- Micromondi e successi nei “problemi giocattolo”



Una dose di realismo (1966-1973)

- Manipolazione simbolica **sintattica** non adeguata
- La complessità dei problemi “non scala” (intrattabilità computazionale)
- Limiti di rappresentazione delle reti neurali di tipo semplice (Minsky e Papert, *Perceptrons*)
- Rapporto Lighthill in UK (1973)

Sistemi esperti (1969-1986)

- Conoscenza specifica del dominio. “*Knowledge is power!*”
- Una serie di successi nei sistemi esperti negli anni 70-80:
 - Dendral, Mycin, Prospector, R1/XCON, ...
- Competenza da esperto?
 - Il collo di bottiglia: l’acquisizione di conoscenza
 - La mancanza di “buon senso” o “senso comune”

Senso comune?

L'abilità mentale che la maggior parte delle persone condividono.

Il ragionamento di senso comune è più complesso di molti compiti intellettuali che suscitano più attenzione e considerazione, perché le abilità mentali che chiamiamo «competenza da esperto» [expertise] coinvolgono una grossa quantità di conoscenza ma di solito impiegano solo poche tipologie di rappresentazione.

Diversamente, il senso comune coinvolge molte tipologie di rappresentazione e quindi richiede un insieme più ampio di abilità diverse.

[Marvin Minsky, *The Society of Mind*]

CYC (<http://www.cyc.com>)

- Il progetto CYC [Lenat]: costruire una base di conoscenza universale per dotare i computer di “senso comune”
- Progetto di 10 anni iniziato nel 1986 in MCC, che continua dal 1994 in Cycorp
- ~200.000 termini, ~12 asserzioni per termine, divisi in migliaia di microteorie

Grafi di conoscenza (Knowledge graph)

- Estrarre conoscenza dai testi e database in maniera semi-automatica o automatica:
 - DBpedia: estrazione di informazioni strutturate da Wikipedia (2007)
 - Free base: un database di fatti su persone, luoghi e oggetti, 43 milioni topics, 2.4 miliardi fatti (acquisiti da Google, chiusi recentemente)
 - Google knowledge graph: 570 milioni di entità, 18 miliardi di fatti (dic 2012). 70 miliardi (2016).
 - Babelnet (oltre 200 lingue)
 - Google Knowledge Vault (2017)

Il ritorno delle reti neurali (1986-oggi)

- L'algoritmo di apprendimento basato sulla retropropagazione (1960) viene riscoperto da almeno 4 gruppi
- Libro *Parallel distributed processing* di Rumelhart e McClelland (1986)
- Un modello alternativo al modello simbolico

Ragionamento probabilistico e apprendimento automatico (1987- oggi)

- Sistemi basati su teorie robuste e un solido metodo sperimentale
- Sistemi basati su apprendimento automatico
- Problemi condivisi (*shared task*) e *challenge*
 - International Planning Competition, per la pianificazione
 - LibriSpeech, per il riconoscimento vocale
 - Data set MNIST, per il riconoscimento della scrittura manuale
 - ImageNet, COCO, per il riconoscimento di immagini e oggetti
 - Squad per sistemi di domanda e risposta
 - WMT, per la traduzione automatica
 - International SAT competition, per i problemi di soddisfabilità di proposizioni ...

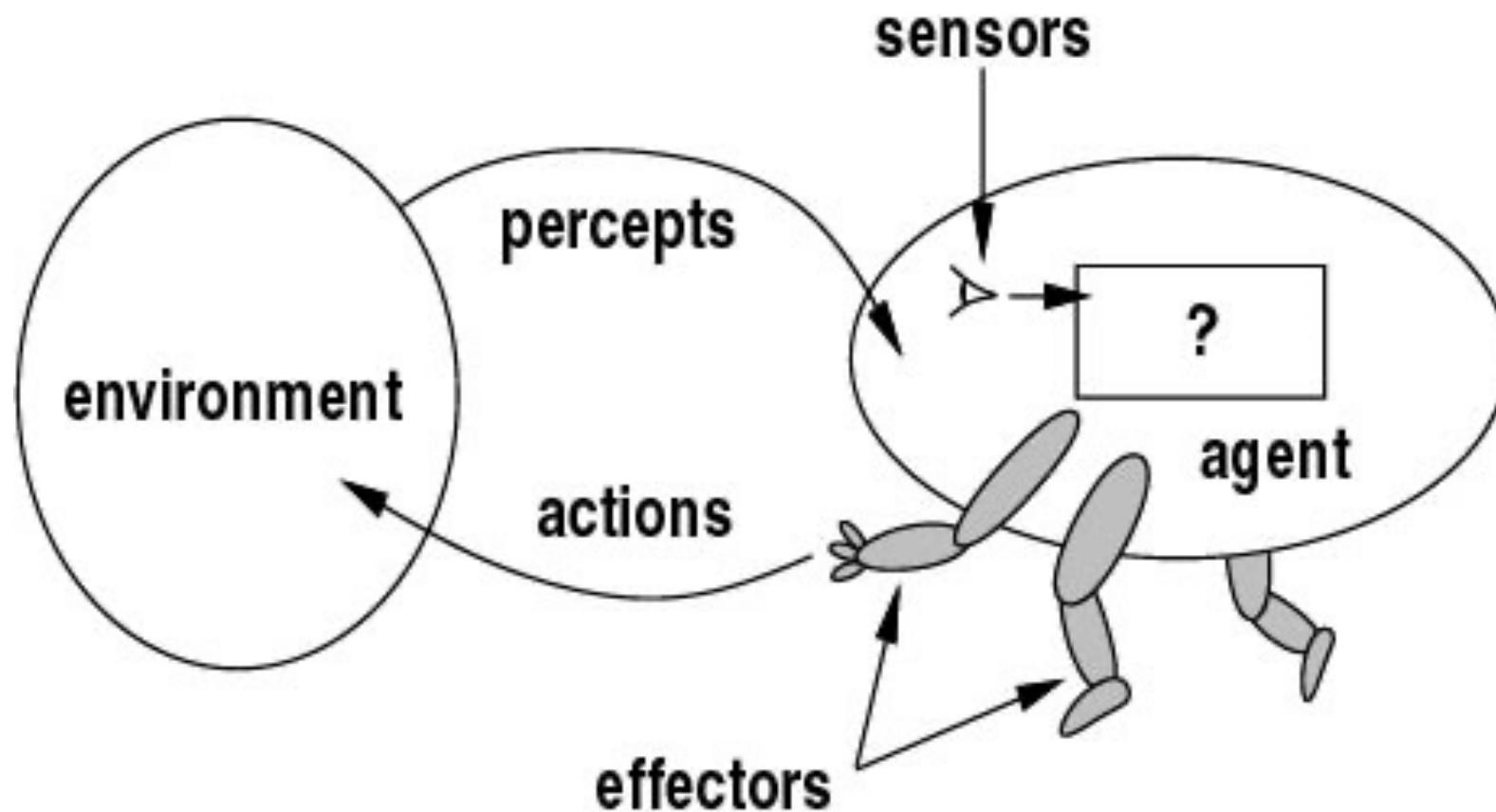
Definizione di “intelligenza”

“Qualità mentale che consiste nell’abilità di apprendere dall’esperienza, di adattarsi a nuove situazioni, comprendere e gestire concetti astratti. E utilizzare conoscenza per agire sul proprio ambiente”

[Enciclopedia britannica]

- Una visione unificante dell’IA.

Agenti intelligenti: la visione “moderna” (dal 1995)



Agenti Intelligenti

- Gli agenti sono **situati**
 - ricevono *percezioni* da un ambiente
 - agiscono sull'ambiente mediante *azioni*
- Gli agenti hanno **abilità sociale**
 - sono capaci di comunicare, collaborare, difendersi da altri agenti
- Gli agenti hanno **opinioni, obiettivi, intenzioni ...**
- Gli agenti sono **embodied**: hanno un **corpo** e forse provano **“emozioni”**

La sfida: RoboCup

La *Robot World Cup Initiative* (RoboCup) è un problema di riferimento per la ricerca in I.A.

Si tratta di realizzare agenti in grado di giocare a calcio (entro il 2050!)

Un problema difficile, che richiede lo sviluppo e l'integrazione di:

- agenti autonomi
- collaborazione tra agenti
- acquisizione di strategie
- ragionamento e pianificazione in tempo reale
- robotica
- tecnologie hw e sw per infrastruttura



La sfida procede su diversi livelli

- versione software simulata (*simulation league*)
- robot reali (*real robot league*)
- versione limitata ad abilità specifiche, es. tirare un calcio di rigore (*special skill competition*)

Eventi (<http://www.robocup.org/>)

- IJCAI 97 (Giappone)
- Campionato mondiale: Melbourne 2000, ... Montréal 2018, Sydney 2019, Bordeaux 2020, **2021 Worldwide**.

Il problema del calcio simulato

Come il gioco del calcio ma ...

- Mondo in due dimensioni
- I movimenti sono simulati per passi
- Ciascun giocatore è un agente autonomo con percezioni limitate
- Nessun controllo centralizzato

Più recente la versione 3D ➤



La sfida robotica

- Robot di diverse dimensioni
 - Small Size League
 - Middle Size League
 - Legged League
 - Humanoid League



Robocup a Singapore - 2010



Update 2019

Final Humanoid League: HTWK vs B-Human



Con avversari umani



Robots beat humans at RoboCup 2016



RoboCup Rescue

- Prima competizione a IJCAI-2001
- Scenari di disastri di vaste dimensioni
- Obiettivo: salvare vite umane
- Scenari simulati e ambienti per robot
- Ambiente ostile popolato da agenti eterogenei, lavoro di squadra, decisioni critiche in tempo reale
- <http://www.robocuprescue.org/>
- Di recente anche RoboCup Home, RoboCup Industrial ...

Capacità di emozioni?

“The question is not whether intelligent machines can have emotions, but whether machines can be intelligent without any emotions”

[Minsky, The Society of Mind]

- Capacità di comprendere e mostrare emozioni
- Ruolo delle emozioni nel meccanismo di decisione [Damasio]

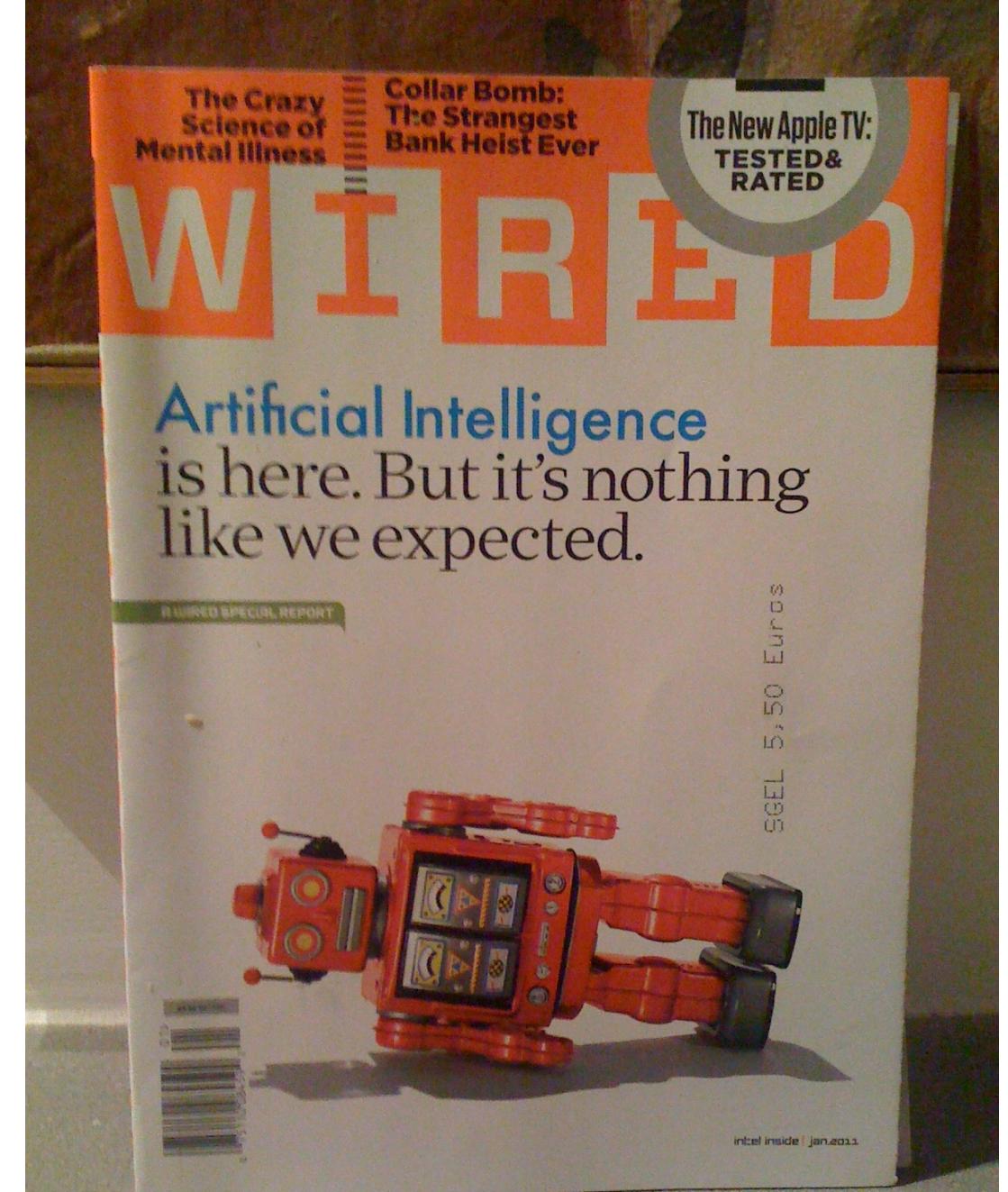
La cronaca

WIRED January 2011

Artificial intelligence is here ...

In fact it's all around us

But it is nothing like we expected



The AI revolution?

- Successi in compiti specifici (AI non unitaria, *Narrow AI vs General AI*)
 - Magazzini intelligenti
 - Aspirapolveri intelligenti (iRobot Roomba)
 - Guida semi-automatica
 - Sistemi di “raccomandazione” (Amazon, Netflix, ...)
 - *Fraud detection*, agenti di borsa ...

The AI revolution?

- Algoritmi di apprendimento automatico che estraggono modelli statistici predittivi da immense quantità di esempi.
- Tecniche di estrazione di “*significati*” da grande quantità di testi
- Sistemi in grado di rispondere a domande in linguaggio naturale in un “dominio aperto”
- IBM Watson: la grande sfida a Jeopardy! (gen 2011)

IBM Watson (gennaio 2011)

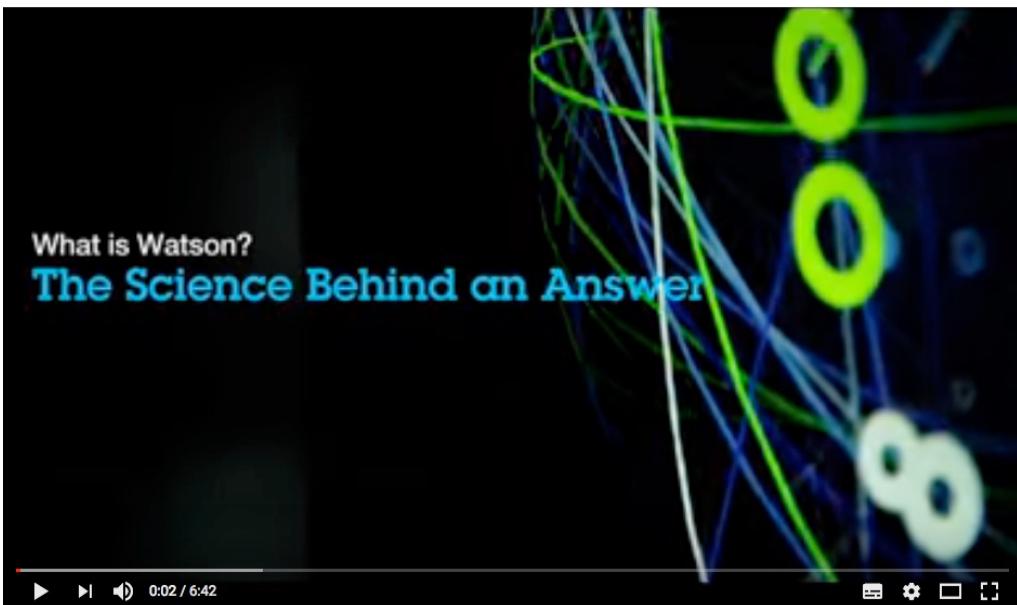
Watson sconfigge nel quiz televisivo **Jeopardy!** i due leggendari campioni (Brad Rutter e Ken Jennings) vincendo il primo premio di un milione di dollari.

[Video](#)

Una grande sfida, paragonabile a DeepBlue e BlueGene, che ha richiesto anni di paziente lavoro ingegneristico.

[Video](#)

Prossima sfida: [Project debater](#)



La disponibilità di grandi quantità di dati (dal 2001)

- L'enfasi si sposta dagli algoritmi ai dati (*big data!*) e agli algoritmi di apprendimento (ML e DM)
- Esempi dalle tecnologie del linguaggio:
 - La traduzione automatica di Google
 - L'interazione in linguaggio naturale di SIRI
- Più dati, maggiore l'accuratezza, ... apparentemente senza limite (“*Unreasonable Effectiveness of Big Data*”)
- La domanda diventa: l'intelligenza *collettiva* può essere estratta o inferita dai dati?

The *deep learning* tsunami

- L'idea di usare reti neurali con molti livelli (deep NN) era stata tentata per diversi anni, ma solo verso il 2011 si riescono ad avere successi evidenti, ... prima nel riconoscimento di immagini e parlato.
- C. Manning: “le reti neurali **profonde** sono in giro da un po’ di anni ma nel 2015 hanno colpito come uno tsunami il settore del NLP”.
- I maggiori esperti (Le Cun, Hinton, Benjo) sono concordi nel ritenere che ci saranno sviluppi importanti a breve nella comprensione dei testi, video, traduzione automatica, QA ...

I numeri del successo (aiindex.org da AI-100)

- Pubblicazioni
 - Articoli di IA aumentati di 20 volte dal 2010 al 2029, ~ 20000 per anno
 - Articoli di ML su arXiv.org raddoppiano ogni anno dal 2009 al 2017
 - NeurIPS è aumentata dell'800% dal 2012, arrivando a 13500 partecipanti
 - La Cina pubblica più articoli degli USA, ma gli autori USA sono più citati
- Sentiment
 - Gli articoli positivi sono aumentati dal 12% del 2016 al 30% nel 2018
- Studenti
 - Le iscrizioni ai corsi di IA sono aumentate di 5 volte in USA, 16 volte nel mondo. IA è la disciplina più popolare in CS (80% maschi, 20% femmine).
- Imprese
 - Startup in IA in USA aumentate di 20 volte arrivando a oltre 800.

Progressi tecnici in numeri

- Visione artificiale
 - Tassi di errore nel riconoscimento di oggetti dal 28% nel 2010 al 2% nel 2017;
Visual QA dal 55% al 68% dal 2015 (**umani intorno all'83%**)
- Linguaggio
 - Accuratezza nel rispondere a domande da 60 nel 2015 a **95** nel 2019 (in F1)
- Confronto con umani
 - Giochi nel 2019: **scacchi, Go, poker, PacMan, Jeopardy, Quake III, Dota 2, ...**
 - Campo medico: **cancro della pelle e della prostrata, retinopatia diabetica ...**

Che cosa è successo?

- Apprendimento di Deep Networks diviene praticabile dal punto di vista computazionale:
 - Possibilità di usare GPU multiple (Graphic Processing Unit); ottimizzate per il prodotto di matrici
 - Tempo di addestramento calato di un fattore 100 negli ultimi due anni
 - La potenza di calcolo raddoppia ogni 3,4 mesi.
- Se avessimo usato gli stessi algoritmi 10 anni fa, non avrebbero ancora finito

DeepMind (Google) masters GO

- Nature 529, 445–446 (28 January 2016)
- *Deep-learning software AlphaGo defeats human professional for the first time; Lee Sedol a marzo.*
- AlphaGo Zero nel 2017, apprende giocando da solo.



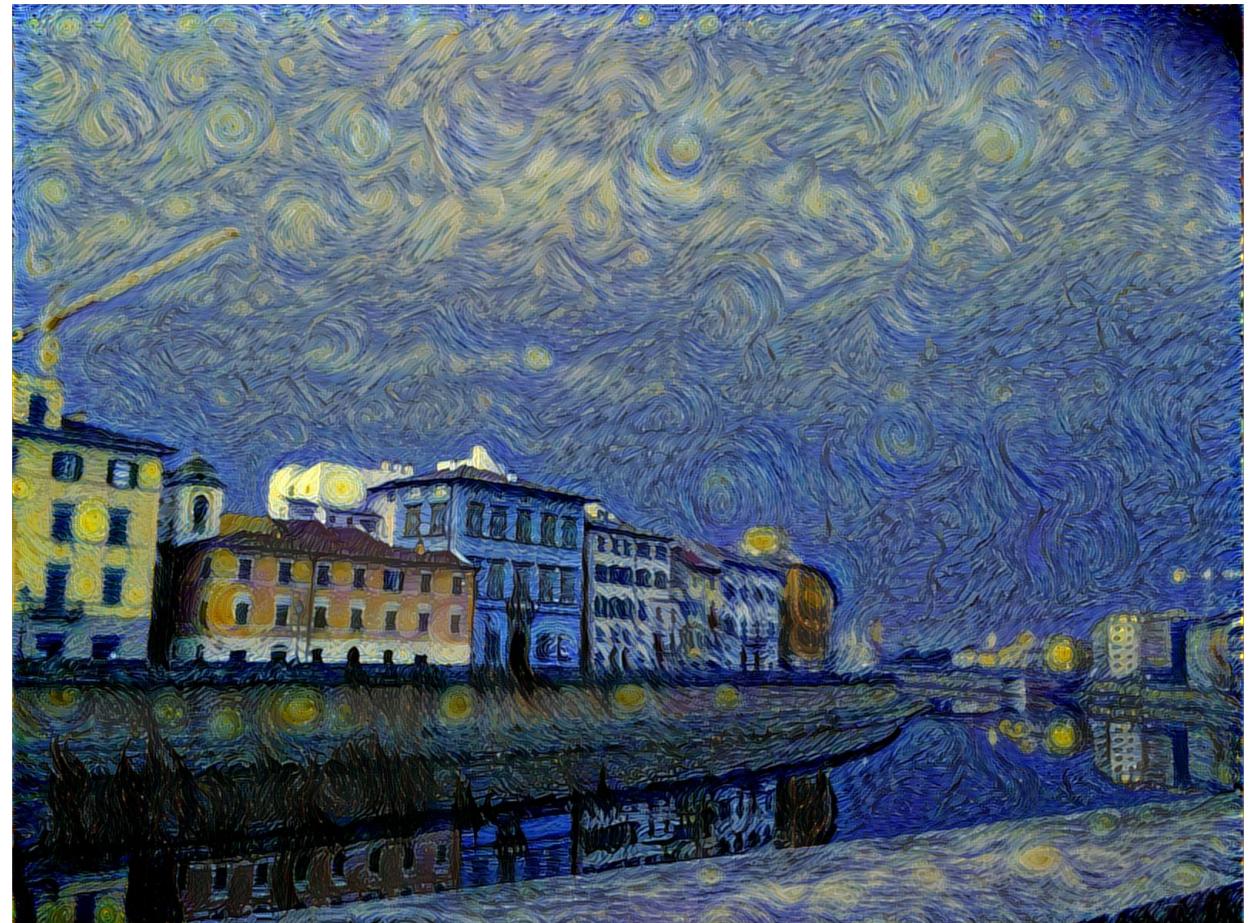
I sistemi di IA possono essere creativi?

Esempio dalla pittura

Lo stile di Van Gogh appreso e applicato a una foto.

Demo di [Artistic Style Transfer](#)

In maniera simile per la musica e per la poesia ...



L'intelligenza artificiale può essere dannosa?

Lettera aperta di *Future of Life Institute* firmata da ricercatori di tutto il mondo (tra cui Stephen Hawking e Elon Musk), gennaio 2015.

- http://futureoflife.org/misc/open_letter
- Musk: A.I. “potenzialmente più pericolosa delle armi nucleari”
- Hawkins: “lo sviluppo di una piena intelligenza artificiale potrebbe segnare la fine della razza umana”
- Gates: “Sono tra quelli preoccupati per la *super intelligenza*”
- Bisogna considerare *opportunità e rischi*.

Priorità di ricerca

L'intelligenza artificiale ... “deve fare solo quello che noi vogliamo che faccia”.

- Servono ricerche non solo per rendere l'IA più **capace** ma anche fare in modo che sia **robusta** e **benefica** per la società (*Trustworthy AI*)
 - ✓ Impatto economico sul mercato del lavoro e sulla società
 - ✓ Responsabilità dei veicoli autonomi, etica delle macchine, armi autonome, privacy
 - ✓ Verifica (il sistema è ‘corretto’?), validità (il sistema è ‘giusto’?)
 - ✓ Sicurezza (protezione da terzi), controllo (dei sistemi autonomi)

[http://futureoflife.org/static/data/documents/research_priorities.pdf]

Codice etico della Commissione Europea

- Elaborato da 52 esperti nominati dalla Commissione Europea nel 2018 (*Orientamenti etici per un' A.I. affidabile*).
- Video che fanno riflettere:
 - TED talk di Stuart Russell (<https://www.youtube.com/watch?v=EBK-a94IFHY>)
 - Killer drones (uno scenario inquietante) (https://www.youtube.com/watch?v=HipTO_7mUOw)

Stato dell'arte

- Veicoli autonomi
- Locomozione su arti ([BigDog](#), [Atlas](#), Spot di Boston Dynamics)
- Pianificazione e scheduling autonomo
 - Esplorazione spaziale: Remote agent, EUROPA ... della NASA;
 - Pianificazione logistica di DARPA, pianificazione percorsi auto per UBER
- Traduzione automatica
- Riconoscimento vocale, nei personal assistants (Alexa, Google, Cortana, Siri ...)
- Raccomandazioni
- Giochi
- Interpretazione (e sottotitolatura) di immagini
- Medicina: diagnostica basata su immagini, ... in collaborazione con il medico ancora meglio.
- Climatologia, predizione di eventi climatici estremi

In sintesi - 1

- È difficile dare una definizione univoca di “intelligenza” e quindi di “intelligenza artificiale”.
- A seconda dei periodi storici gli approcci sono diversi, l’enfasi è diversa, gli obiettivi stessi sono diversi.
- Parafrasando la definizione di Kurzweil ...

*A.I è l’arte di creare macchine che svolgono funzioni che **tuttora** richiedono intelligenza umana per essere svolte*

... un “bersaglio mobile”.

In sintesi -2

- A.I. (ML) come alternativa all'approccio algoritmico tradizionale in presenza di incertezza.
 - *Sorgenti di incertezza: sensori imperfetti, dati incompleti, limiti alle capacità di calcolo ...*
 - *Thrun: AI is the technique of uncertainty management in computer software. AI is the discipline that you apply ... when you don't know what to do.*
 - *Gervasi: se non ci sorprende non è A.I.!!!*
- Ma ricordate: l'IA non coincide con il ML; la General AI è ancora lontana e dovrà integrare diverse capacità e in particolare apprendimento e ragionamento.

Risolutore di Sudoku “a vista”

Un'applicazione recente
che mette insieme diversi
approcci (ibrida):

https://www.youtube.com/watch?v=QR66rMS_ZfA

