

Capitolo J46 intelligenza artificiale, breve storia

Contenuti delle sezioni

- a. sviluppo delle tecnologie digitali p. 2
- b. nascita dell'Intelligenza artificiale p. 6
- c. crescita dell'Intelligenza artificiale p. 10
- d. risultati recenti dell'Intelligenza artificiale p. 15
- e. videogiochi e prospettive del metaverso p. 20

24 pagine

J46 a. sviluppo delle tecnologie digitali

J46 a.01 Lo sviluppo delle attività che si raccolgono sotto il termine “Intelligenza artificiale”, qui abbreviato con AI, deve essere presentato nell’ambito della crescita delle tecnologia della informazione e della comunicazione, in acronimo ICT.

Dalla seconda guerra mondiale a oggi stiamo assistendo alla vistosa crescita dell’elettronica e dell’informatica in termini di conoscenze, di strumenti realizzati, di diffusione e di influenza sociale e culturale delle loro molteplici applicazioni.

Confrontando il computer che ha guidato Apollo 11 nel 1969 e un comune smart phone, si constata che i dispositivi di memoria sono cresciuti di un fattore 1-7 milioni, che le velocità di calcolo unitarie sono aumentate di circa 60 000 volte, che il costo delle componenti è diminuito di un fattore 100 milioni e che la diffusione è circa un miliardo di volte maggiore e la superiore versatilità è difficile da confrontare. I circuiti integrati di 50 milioni di volte

Queste crescite hanno consentito una grande crescita della usabilità delle tecnologie ICT e ha consentito di affrontare una ampia varietà di problemi, in particolare di problemi formulati all’interno di discipline che solo da pochi anni si stanno dotando di procedimenti quantitativi.

Oggi gli uomini possono risolvere molti più problemi, molto più in profondità e con molta minore fatica.

J46 a.02 Si può anche affermare che siano moltissime le questioni di elevato interesse che si potrebbero affrontare con buone prospettive di successo, ma che non sono seriamente affrontate a causa di gravi scollature culturali, della scarsità delle competenze disponibili, della impreparazione di molte infrastrutture e della resistenza ostile di alcuni centri di potere; queste remore sono dovute a loro volta ai rapidi e spesso instabili cambiamenti delle attività produttive e commerciali, alle incertezze dei comportamenti e alle difficoltà nel definire chiare visioni culturali.

La efficienza e la disponibilità degli strumenti attuali fa comunque pensare che nei prossimi anni saranno molte le opportunità di ricerche e sviluppi potranno essere affrontate con buone prospettive di successo.

Dopo i primi calcolatori elettromeccanici, nel periodo della seconda guerra mondiale sono stati realizzati i primi computers elettronici, servendosi di relays e tubi termoionici. Ricordiamo in particolare : ABC di Atanasoff e Berry (1942), Colossus realizzato a Bletchley Park (1943) ed ENIAC da John Mauchly e J. Presper Eckert (1945); quest’ultima macchina pesava 30 tonnellate, conteneva 18000 tubi e 1500 relays ed eseguiva 5000 addizioni o sottrazioni al secondo.

Mentre i primi elaboratori erano programmati con un pannello a connessioni, i primi computers con programma in memoria sono stati Manchester Mark 1 (1949) ed EDSAC di Wilkes (1949).

Importanti progressi si sono ottenuti con l’adozione della memoria a nuclei di ferrite (nel 1953 sul modello Wirlwind), con l’adozione di memorie su tamburo e con la sostituzione dal 1955 delle valvole termoioniche con i transistors, molto più piccoli, molto meno energivori e di durata ben maggiore.

J46 a.03 Per i primi computers a transistors si è parlato di computers di seconda generazione.

Un grande successo commerciale è stato ottenuto dal modello IBM 1401 con 10000 unità installate a partire dal 1960.

I transistors sono stati utilizzati anche per le unità periferiche a partire dalle memorie a disco magnetico. Soluzione analoga per le telescriventi, talvolta collegate come terminali a distanze di centinaia di chilometri; queste apparecchiature hanno aperto l'utilizzo dei computers attraverso reti di comunicazione che si possono considerare anticipazioni di Internet.

Negli anni 1950 sono stati introdotti i primi linguaggi di programmazione, Fortran per opera di Backus rivolto alla programmazione di soluzioni di problemi tecnico-scientifici e COBOL per opera di Grace Murray finalizzato alle applicazioni gestionali.

All'inizio degli anni 1960 si è sentita la necessità di produrre i primi supercomputers a transistors al germanio: Atlas, IBM 7030 Stretch e i sistemi 6600 e 7600 prodotti dalla Control data Corporation.

Nel 1958 sono stati realizzati i primi circuiti integrati da Kilby presso la Texas Instruments (su germanio) e da Noyce presso la Intel (su silicio).

I computers basati su circuiti integrati sono stati assegnati alla cosiddetta terza generazione. Tra questi va compreso il sistema di guida della astronave Apollo dal peso di soli 32 Kg.

I transistors del tipo MOSFET, metal-oxide semiconductor field-effect transistor, sono stati utilizzati come memorie a partire dal 1964 come SRAM, static random access memory e soprattutto dal 1966 come DRAM, dynamic random access memory, risultando molto meno care ed energivore delle memorie ad anelli di ferrite. Dal 1967 sono state disponibili anche memorie a transistor non volatili.

J46 a.04 Alla fine degli anni 1960 sono comparsi i primi computers attribuiti alla quarta generazione basati sui microprocessori, dispositivi complessi e compatti resi possibili dalla rapida crescita della densità di transistors nei circuiti integrati in accordo con la legge di Moore, la legge empirica rimasta valida fino agli anni 2010 che segnalava il raddoppio della densità dei transistor ogni due anni circa.

Intorno al 1970 si sono realizzate microprocessori costituiti prima da più chips LSI, large scale integration, poi da uno solo di tali circuiti integrati (Intel 4004 realizzato nel 1971).

La successiva evoluzione ha portato a microcontrollori che tipicamente includevano una CPU con frequenza da 12 MHz, una RAM da 128 bytes, una EPROM di 2048 bytes e la logica per il controllo delle operazioni di I/O.

La disponibilità dei microprocessori ha consentito la diffusione dei minicomputers a partire dal 1970, un primo passo verso la grande diffusione degli strumenti di calcolo automatico, fenomeno che ha ottenuto rilevanti effetti sulla diffusione della cultura informatica fin dai primi anni in migliaia di laboratori e piccole aziende.

Ancor maggiore è stata l'influenza socio-culturale della disponibilità dei personal computers, PCs, iniziata con l'offerta di Kit di montaggio per strumenti che oltre al calcolo automatico consentissero prestazioni di intrattenimento; in questo campo va ricordato il grande successo riscosso da Altair.

J46 a.05 Nel 1975 Olivetti ha presentato P6060, il primo PC completo e preassemblato, basato su logica TTL (transistor-transistor logic in grado di effettuare operazioni logiche e svolgere funzioni di amplificazione), dotato di due floppy discs da 8 pollici e display a plasma da 32 caratteri, stampante, RAM da 48 KB e linguaggio di programmazione BASIC.

Negli anni immediatamente successivi si è avuta una grande proliferazione di personal computers di buona popolarità, tra i quali Apple II e Commodore. Dopo un periodo di prodotti poco compatibili, la presentazione del primo PC prodotto da IBM con sistema operativo e software di interesse generale della MicroSoft ha portato a una drastica unificazione di questo genere di prodotti che dura tuttora, anche se nella forma più ridotta del duopolio Microsoft-Apple.

Negli anni 1980 e successivi, grazie ai progressi continui dell'elettronica dei sistemi, anche di quelli con prestazioni ridotte che si sono fatti largo anche nelle applicazioni industriali e professionali in genere. Negli anni 1990 hanno avuto successo le cosiddette workstations, varianti dei PC più potenti e dotate di sistemi di I/O molto prestanti, talora specializzate per calcoli scientifici e tecnici molto impegnativi e di elevato valore aggiunto; in particolare sono riscontrati importanti progressi nella computer graphics. La disponibilità di PCs e workstations ha portato a una notevole crescita del software applicativo sviluppato in migliaia di ambienti nei quali era elevata la consapevolezza delle esigenze dei problemi da risolvere e delle conseguenti responsabilità.

J46 a.06 Una importante linea di sviluppo ha riguardato le telecomunicazioni tra computers con lo sviluppo di Internet consentito dall'imporsi di protocolli di trasmissione unificati (TCP/IP), dalle sperimentazioni promosse dall'agenzia DARPA della difesa USA, e dalla sua decisione di renderlo ampiamente disponibile. Internet innanzi tutto ha consentito la interoperabilità tra reti di computers delle diverse estensioni (LAN, MAN e globali) e nel giro di pochi anni ha avviato la sua ampia diffusione grazie alle attrattive dovute alle possibilità di servirsi di ipertesti e prestazioni multimediali.

Infatti un passo in avanti di grande importanza è stato la messa a punto del software per il sostegno al WWW, World Wide Web, dovuto primariamente a Tim Berners-Lee presso il CERN. Il WWW, concepito nel 1989, reso pubblicamente disponibile nel 1993 e adottato ampiamente dai più avanzati ambienti industriali e da molti organismi istituzionali nel 1997 nei successivi decenni ha visto una continua vistosa crescita, sia sul piano tecnico, che su quello della adozione letteralmente di massa.

La disponibilità del WWW ha aumentato sensibilmente la effettiva interoperabilità di molti sistemi produttivi, commerciali e tecnico-scientifici e anche quella di alcuni sistemi amministrativi e della cultura tradizionale. Si è inoltre avuta la conseguente crescita delle collaborazioni a distanza e in tempi più lunghi l'esplosione della globalizzazione dei mercati.

J46 a.07 La crescita della interattività e della interoperabilità per persone e organismi è ulteriormente cresciuta a partire dal 2007 con la disponibilità dei telefoni cellulari e satellitari e con la messa in orbita a bassa quota di intere costellazioni di satelliti artificiali.

Si è quindi arrivati ad una attuale disponibilità di circa 5 miliardi di accessi al WWW e di telefoni smart con capacità elaborative e di interconnessione molto elevate.

La disponibilità di sistemi per la comunicazione di grande efficienza e versatilità porta al vantaggio di abbreviare drasticamente i tempi richiesti dalle innovazioni, ossia dei tempi che intercorrono fra ideazione di un progetto, la sua specificazione con dettagli tecnici e sulle risorse necessari e la sua realizzazione spesso accelerata dalla disponibilità di strumenti più efficienti di quelli del passato.

J46 a.08 Sul piano dell'hardware vanno segnalate varie altre rilevanti innovazioni.

Vengono sviluppati sistemi multiprocessori in grado di effettuare calcoli massicciamente paralleli.

Proseguendo in questa direzione vengono costruite server farms, sistemi costituiti da migliaia e anche milioni di unità di calcolo, processori che consentono di erogare elevate potenza di calcolo, anche ottenuta con elaborazioni parallele a utenti remoti collegati con linee ad alta velocità di trasmissione.

Questi sistemi consentono di portare avanti progetti computazionali molto impegnativi senza la necessità di dotarsi di hardware apposito e delle competenze e dei servizi collaterali.

Lo sviluppo e il dispiegamento su aree molto ampie di linee di trasmissione con alte prestazioni ha fatto nascere le attività di cloud computing gestite da grandi organismi della tecnologia digitale come Amazon, Microsoft e Google. Un centro di cloud computing tende a fornire ai clienti remoti un ampio spettro di servizi comprendente oltre alla potenza di calcolo, alte prestazioni interattive, gestione di

grandi quantità di dati (big data), assistenza software, rapido aggiornamento e potenziamento della strumentazione e anche consulenza alla progettazione.

J46 a.08 Vengono sviluppati sistemi processori con prestazioni molto elevate per attività specialistiche. La compagnia Nvidia sviluppa le GPU, graphical processing units con alte prestazioni grafiche e con procedimenti di calcolo intensivo che vengono applicati anche a impianti dedicati al supercalcolo per scopi tecnico-scientifici.

I processori per la grafica intensiva ottengono grande successo, anche in quanto richieste da sistemi per il gaming (videogiochi interattivi) un'attività che conta su milioni di appassionati.

Prodotti similiai GPU sono le TPU, tensor processing units di Google.

Recentemente vengono sviluppati sistemi in grado di raggiungere alte prestazioni per elaborazioni riguardanti compiti di machine learning e deep learning attraverso simulazioni di reti neurali.

J46 a.09 Grandi aspettative riguardano lo sviluppo di sistemi per il quantum computing, per computazioni che sfruttano fenomeni quantistici sistemi che richiedono dispositivi molto diversi da quelli messi in campo per i processori elettronici finora.

Un computer quantistico invece dei bits, si serve come unità elementari di informazione dei qbits, dei quantum bits, ciascuno dei quali in grado di registrare una sovrapposizione dei due stati esprimibili con 0 o 1.

Le linee teoriche dei quantum computers e i relativi algoritmi sono stati definiti con sufficiente chiarezza, ma la produzione di sistemi affidabili e di ampia portata incontra notevoli difficoltà per la delicatezza di trattamento dei qbits che in particolare richiede di servirsi di superconduttori e operare a temperature molto basse.

Negli anni sono state prodotte macchine via via più prestanti, ma solo nel 2019 Google AI e la NASA hanno presentato una macchina in grado di gestire 54 qbits. In questo settore comunque gli studi sono molto vivaci e coinvolgono numerosi ricercatori e ingenti finanziamenti: sono molte le attese che si compendiano nel termine “quantum supremacy” teso ad esprimere la fiducia nelle ampie possibilità dello sfruttamento dei fenomeni quantistici.

J46 b. Nascita dell'Intelligenza artificiale

J46 b.01 Il movimento riguardante l'Intelligenza artificiale si può far nascere insieme ai primi computers negli anni 1940 con gli studi di ricercatori di campi afferenti a matematica, logica, tecnologie digitali e neuropsicologia ai quali si sono in seguito aggiunti studiosi di linguistica, economia e politologia.

I primi tempi vedono personalità lungimiranti (tra le quali Wiener, Turing, McCulloch con Pitts, Shannon, Minsky, McCarthy, Chomsky) che si interrogano sui limiti delle possibilità dei computers e delle tecnologie collegate, oltre alle riconosciute capacità di queste macchine di eseguire calcoli numerici e di manipolare rilevanti quantità di dati.

Tra le prime conoscenze acquisite vanno ricordate quelle riguardanti la cibernetica di Wiener, la computabilità di Turing e Church, i circuiti di commutazione e la teoria dell'informazione di Shannon, la schematizzazione mediante reti elettriche delle reti di neuroni cerebrali di McCulloch e Pitts e le attività in crittografia condotte a Bletchley Park, in particolare le proposte fondamentali di Turing.

Nel 1950 Turing, in seguito ai suoi studi sulla computabilità e al suo lavoro in crittografia, ha esaminato con lucidità la possibilità di costruire macchine in grado di effettuare scelte e produrre informazioni paragonabili agli interventi della mente umana.

Nel 1951 Minsky, ispirato dalla schematizzazione di McCulloch e Pitts, ha progettato e ha costruito con Edmonds la prima macchina con reti neurali artificiali, chiamata SNARC (Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator).

Nel 1952 Strachey ha scritto un programma per il gioco della dama e ha reso disponibili il primo videogioco per partite con regole deterministiche e informazioni complete; poco dopo si è cominciato a progettare macchine capaci di giocare a scacchi.

I programmi per effettuare giochi successivamente stati usati spesso per valutare i progressi dei risultati nell'area dell'Intelligenza artificiale, e per sostenere davanti a un vasto pubblico le possibilità delle tecnologie sviluppate in questo settore.

J46 b.02 Nel 1955 Newell e Simon hanno costruito "Logic Theorist", programma che è stato in grado di dimostrare alcuni dei primi teoremi enunciati nel testo "Principia Mathematica" di Russell e Whitehead.

Nel 1956 presso il Dartmouth College si è svolto un seminario al quale hanno partecipato Shannon, Minsky, McCarthy e altri pionieri del movimento, incontro che viene considerato l'evento di fondazione come disciplina dell'Intelligenza artificiale.

Da questo seminario sono usciti il nome Artificial Intelligence, proposto da McCarthy e la definizione del suo primo programma consistente nella produzione di strumenti e procedimenti capaci di svolgere compiti che in precedenza avevano richiesto interventi dell'intelligenza umana.

J46 b.03 Negli anni successivi il movimento AI ha ottenuto sensibili successi nei campi dei calcoli matematici simbolici, delle dimostrazioni di teoremi, nei giochi da tavolo, in particolare negli scacchi, nel controllo di frasi della lingua inglese e con i primi sistemi esperti (v.o.).

Un importante passo in avanti è consistito nella adozione di precise tecniche formali derivate dalla logica. Per questo ha influito particolarmente la proposta formulata nel 1963 da J. Alan Robinson di implementare manovre della logica del primo ordine nei programmi che si basano su procedimenti deduttivi.

Le non poche realizzazioni positive hanno portato a un clima di ottimismo e a promesse di rapidi progressi che sono riuscite ad ottenere rilevanti finanziamenti negli Stati Uniti e nel Regno Unito.

Sul piano metodologico negli anni 1960 si sono andate formando linee programmatiche generali piuttosto definite.

Un paradigma ampiamente adottato in quegli anni è quello del ragionamento ricondotto a ricerca: molti problemi sono stati risolti con algoritmi che procedono a una successione di scelte, spesso per deduzione, concernenti contributi elementari ad una costruzione, ad esempio allo svolgimento di un gioco e al procedere di un percorso. Si ammette che oltre a passi di avanzamento si possano effettuare arretramenti verso configurazioni precedenti (backtracking) quando si incontrano situazioni sfavorevoli.

Lo svantaggio possibile di questo approccio consiste nella eventualità che per gran parte delle scelte si renda necessario esaminare enormi quantità di situazioni eventualità rappresentabile come muoversi su alberi di scelte con moltissimi nodi e diramazioni e quindi la necessità di impiegare tempi enormi; la comparsa di queste difficoltà viene chiamata “esplosione combinatoria” del procedimento.

In ciascuna di queste eventualità si deve ricorrere a una cosiddetta euristica, ossia a un criterio che porti a una rapida decisione che consenta di evitare gran parte delle situazioni che il criterio fa sospettare inutili, ma con il rischio di trascurare le possibilità migliori.

J46 b.04 Un compito importante che ci si è posti è stato quello di precisare procedimenti per comunicare in una lingua naturale, inizialmente solo in inglese, ottenendo primi risultati mediante le cosiddette reti semantiche.

In particolare Weizenbaum ha proposto nel 1966 il sistema ELIZA in grado di sostenere conversazioni realistiche su argomenti circoscritti avvalendosi di collezioni di schemi (domanda, risposta) prefissati; si è trattato di un’esperimento stimolante, ma con limiti applicativi individuati con lucidità dallo stesso proponente che è giunto a criticare l’utilizzazione di ELIZA per interventi di terapia psicologica privi di valide giustificazioni.

Alla fine degli anni 1960 Minsky e Papert hanno sostenuto l’opportunità di concentrarsi su situazioni semplici e tendenzialmente artificiali chiamate micro-mondi a imitazione dei modelli semplificati sui quali si è sviluppata la fisica.

Questo atteggiamento ha portato a primi successi della visione artificiali e alla costruzioni di bracci robotici in grado di riconoscere e ricollocare oggetti materiali, fino ad arrivare al sistema SHRDLU di Winograd capace di eseguire ordini impartiti in inglese attraverso la pianificazione di sequenze di operazioni semplici.

J46 b.05 In quegli anni, in relazione dell’alternarsi di risultati promettenti e di ostacoli difficili da superare, sono stati delineati un programma ‘AI debole’, più realistico, volto al conseguimento di risultati che rispondano ad esigenze concrete circoscritte e un programma “AI forte” più ambizioso e ottimista che sostiene l’opportunità di concentrare gli sforzi su obiettivi di ampia portata il cui conseguimento apra la possibilità di successi in interi campi applicativi.

Negli anni seguenti su questi due programmi si è sviluppato un dibattito filosofico-tecnologico spesso condotto con toni molto aspri, anche in relazione ai possibili conflitti sulle priorità dei finanziamenti disponibili o auspicati.

Nel 1958 Frank Rosenblatt, psicologo convinto che esperimenti con il computer avrebbero potuto migliorare la conoscenza della mente umana, ha proposto il metodo del connessionismo, riprendendo le idee di McCulloch e Pits e partendo dalla constatazione che il cervello degli organismi superiori opera mediante le connessioni elettriche tra neuroni.

Egli quindi aveva progettato l'automatismo chiamato Perceptron che imitava, molto approssimativamente le reti dei neuroni cerebrali dandogli il compito di analizzare immagini dello stesso genere (ad esempio fotografie di persone) al fine di individuare i loro cosiddetti patterns, configurazioni caratterizzanti in grado di contribuire a identificare, distinguere e classificare le immagini stesse.

Questo automatismo prevede dei parametri, spesso chiamati "pesi", che caratterizzano i nodi e i collegamenti della rete.

J46 b.06 Perceptron ha fornito risultati solo in parte attendibili, ma ha dimostrato sin dalle prime sperimentazioni di essere in grado di procedere a migliorare le proprie prestazioni attraverso con successivi adattamenti degli accennati pesi.

Perceptron ha destato vari interessamenti fino a che nel 1969 Minsky e Papert hanno pubblicato il libro intitolato "Perceptrons" nel quale hanno mostrato con chiarezza le limitazioni delle reti neurali proposte da Rosenblatt e questo ha portato a un diffuso discredito e all'abbandono delle ricerche su sistemi ispirati dal connessionismo che è prevalso per almeno una decina di anni e che ha continuato a pesare a lungo.

I più riconosciuti successi di quegli anni hanno indotto non pochi esponenti del movimento a fare previsioni poco realistiche sui tempi necessari per mettere a punto sistemi con una buona padronanza di certi campi applicativi.

In particolare erano state fatte previsioni ingenuamente esagerate sulla possibilità di risolvere soddisfacentemente problemi come la traduzione automatica in inglese da lingue come il russo e come la controllabilità di mezzi militari nel corso di azioni belliche, previsioni le cui proclamazioni avevano procurati consistenti finanziamenti da organismi militari statunitensi e britannici.

J46 b.07 Queste previsioni si sono rivelate in massima parte esagerate e hanno portato nel 1973 il matematico James Lighthill a scrivere un rapporto per il BSRC, il British Science Research Council, nel quale ha espresso il suo pessimismo sulle possibilità della AI nei settori della robotica avanzata e dalla elaborazione dei linguaggi naturali, dichiarandosi scettico sulle possibilità di giungere in tempi prevedibili a solidi principi per la AI e sottolineando i rischi delle esplosioni combinatorie.

Questo rapporto ha convinto il BSRC a tagliare i fondi per la AI e successivamente una decisione analoga è stata presa dalla influente agenzia DARPA del dipartimento per la difesa del governo USA.

Tra il 1974 e il 1980 si è quindi diffuso un clima di sfiducia e di scarsa considerazione per l'intero movimento AI con la conseguente crisi delle attività dell'area che ha indotto a parlare di un primo "AI winter".

J46 b.08 Nei primi anni 1970 un fattore positivo per l'AI è consistito nella decisione degli ambienti industriali e ministeriali giapponesi di destinare cospicui investimenti alla robotica per il settore manifatturiero; questo ha condotto ad alcune interessanti realizzazioni, tuttavia questo genere di prodotti per imporsi convintamente avrebbero dovuto ancora aspettare dei consistenti miglioramenti metodologici e strumentali.

Un altro elemento positivo emerso nel periodo 1972-73 è derivato dai risultati degli studi sulla complessità computazionale e sulla classificazione degli algoritmi dovuti in particolare a Cook e Karp.

Questi studi piuttosto astratti hanno fatto procedere decisamente l'analisi sistematica del costo degli algoritmi in termini di impiego di tempo e di memoria. Questa ha dato inizio ad una robusta crescita della disciplina della complessità computazionale e delle conoscenze sugli algoritmi con la conseguente riduzione del rischio di ingenuità nelle previsioni sui costi delle attività computazionali richiesti dalle iniziative innovative. In particolare si è raggiunto il chiaro riconoscimento dei cosiddetti problemi

intrattabili anche quando siano disponibili di apparecchiature di calcolo automatico molto più potenti di quelle utilizzate in precedenza.

J46 c. Crescita dell'Intelligenza artificiale

J46 c.01 Nel corso degli anni 1970 si è avuta una rilevante crescita delle aspettative dei confronti delle apparecchiature elettroniche in relazione alla previsione della continuativa crescita della densità dei transistors nei circuiti integrati espressa dalla legge di Gordon Moore.

Questa legge empirica formulata negli ambienti della microelettronica intorno al 1965 prevedeva il raddoppio del numero dei transistors collocabili nei circuiti elettronici nel giro di 18-24 mesi, raddoppio che assicurava un simile tasso di crescita per la potenza dei dispositivi elettronici prevedibilmente disponibili nei mercati vicini alle applicazioni concrete.

La legge di Moore è stata ampiamente riconosciuta e ha indirizzato gli obiettivi della ricerca e dello sviluppo nell'industria e nella cultura dei componenti elettronici e delle moltissime attività indotte dimostrandosi valida fino a circa il 2010, quando si sono raggiunti i livelli di affollamento dei transistors corrispondenti a distanze di pochi nanometri, valori ai quali sono elevati i rischi di disturbi ai circuiti dovuti a fluttuazioni termiche, urti di raggi cosmici ed effetti quantistici.

J46 c.02 La prospettiva di una forte crescita della ICT, progressiva e prolungata, ha attratto interessi economici, industriali e scientifici verso i progetti basati su tecnologie innovative e in particolare verso l'area AI.

A partire dal 1980 si è riscontrata la rapida diffusione globale dei PC che, insieme alle prime esperienze di connettività tramite Internet, ha fatto crescere la familiarità con le procedure automatiche e l'aspettativa di soluzioni quantitativamente qualificate di problemi pratici tradizionali ed emersi in nuovi ambiti sia tecnico-scientifici, che amministrativi, organizzativi e umanistici.

Agli ambienti industriali e della ricerca si sono resi disponibili processori, workstations e mainframes sensibilmente più potenti, dotati anche di prestazioni di calcolo simbolico e parallelo, e sono state sviluppate ricerche metodologicamente più accurate e di più ampia visione.

Questo ha portato a crescenti successi in particolare nella robotica industriale.

Conseguentemente è cresciuto l'interessamento verso l'AI di imprenditori e di enti pubblici diventati più disposti a finanziare nuove iniziative. Un altro fattore importante è stata la crescente attrattiva dell'AI nei confronti di giovani ricercatori, potenziali generatori di nuove iniziative e costituenti di una delle più critiche risorse per il progresso di tutte le tecnologie innovative.

Tutti questi fattori hanno consentito di lasciare alle spalle il precedente inverno dell'Intelligenza artificiale.

J46 c.03 Un tipo di prodotto della AI affermatosi in quegli anni è costituito dai sistemi esperti, sistemi software in grado di fornire risposte o di risolvere problemi incircoscritti domini di conoscenze specialistiche servendosi di regole concernenti soprattutto scelte suggerite dalle competenze di operatori esperti.

Il primo sistema esperto in evidenza, Dendral, era stato presentato nel 1965 da Edward Feigenbaum e consentiva di individuare gli elementi presenti in un composto chimico a partire dalle indicazioni di uno spettrometro.

Nel 1972 è stato reso disponibile MYCIN, sistema capace di diagnosticare malattie dovute a infezioni del sangue. Questo sistema e altri successivi erano piuttosto efficaci, ma hanno avuta una diffusione alquanto ridotta, a causa della scarsa familiarità e della poca fiducia verso gli strumenti digitali negli ambienti medici.

Questa situazione nel corso degli anni 1980 è molto migliorata, primariamente grazie alla diffusione dei minicomputers, poi in seguito al successo vistoso e rapido dei PC, dei personal computers, nonché dalle esperienze di connettività maturate dai primi utilizzatori di Internet al di fuori della ristretta cerchia degli addetti ai lavori.

J46 c.04 Internet, la rete delle reti, era stata avviata dagli ambienti militari statunitensi e da ricercatori di poche università ed era evidentemente destinata a un progressivo (inarrestabile) allargamento a tutti i contesti qualificati dei paesi dotati di tecnologie aggiornate.

Un notevole successo hanno ottenuto i sistemi esperti sviluppati per controllare produzione e assemblaggio dei prodotti industriali elaborati, a partire dal successo, molto evidente sul piano dei costi industriali, del sistema XCON per l'assemblaggio dei computers VAX prodotti dalla Digital Equipment Corporation.

Negli anni 1980 si è dunque avuta una estesa adozione dei sistemi esperti da parte di compagnie di grandi dimensioni che si sono disposte a sviluppare sistemi proprietari attraverso reparti AI al loro interno.

Si è quindi aperto un nuovo settore industriale che ha raggiunto rilevanti bilanci e che ha visto l'inizio della perenne crescita di produttori di hardware e di software specializzati.

J46 c.05 I successi dei sistemi esperti hanno indotto i ricercatori AI a dare più importanza alle attività riguardanti la gestione delle conoscenze riconoscendo che le buone prestazioni di molte procedure avanzate erano dovute alla capacità di servirsi di conoscenze ampie e dettagliate del dominio nel quale si colloca ciascuna delle varie applicazioni.

Si sono quindi sviluppate le cosiddette basi di conoscenza e si è formata la disciplina dell'ingegneria della conoscenza che intorno al 1990 ha occupato una posizione centrale dell'area AI.

In quegli anni è stato lanciato da Douglas Lena il progetto di lunga durata "Cyc" finalizzato allo sviluppo di una base dati di grandi dimensioni per la raccolta delle entità e degli eventi che fanno parte delle conoscenze dalle persone comuni, cioè della cosiddetta "common sense knowledge".

J46 c.06 In quegli anni si è andato consolidando anche il settore dei sistemi in grado di affrontare giochi impegnativi con lo sviluppo di hardware e software per elaborazioni parallele specialistiche; nel 1989 queste macchine sono riuscite ad ottenere le prime vittorie sui grandi maestri degli scacchi.

Significativi progressi nella logica hanno portato a migliori motori inferenziali e a una adozione dei metodi simbolici più ampia e sistematica.

Un altro elemento che ha portato sostegno all'intero ecosistema AI è stato il progetto Fifth Generation avviato nel 1981 dal governo giapponese per sostenere l'industria giapponese e le sue esportazioni. I suoi ambiziosi obiettivi riguardavano sistemi hardware e software in grado di sostenere conversazioni, di effettuare traduzioni automatiche di interpretare immagini e di portare avanti ragionamenti di livello umano.

Inoltre si sono potenziati i procedimenti simbolici con l'adozione del linguaggio Prolog per la programmazione logica che ha dato versatilità a questo approccio consentendo sperimentazioni più agevoli.

L'intervento a favore della AI delle istituzioni giapponese è stato seguito da simili progetti nel Regno Unito e negli USA; in particolare è stato costituito il consorzio industriale MCC e sono triplicati tra il 1984 e il 1988 gli investimenti verso l'AI dell'agenzia DARPA.

J46 c.07 Negli anni 1980 è iniziata una significativa ripresa degli studi sul connessionismo, la metodologia iniziata da Rosenblatt e trascurata in seguito alle critiche di Mirsky e Papert.

In questi anni Geoffrey Hinton and David Rumelhart hanno introdotto e sviluppato l'addestramento delle reti neurali attraverso il metodo del backtracking, della retropropagazione.

Nel 1982 sono stati proposti nuovi tipi di reti neurali con connessioni più elaborate, le reti di Hopfield, che hanno dimostrato essere in grado di apprendere come migliorare i propri comportamenti.

Questi due diversi metodi sono poi stati unificati nel 1986 e nel 1990 hanno raggiunto un buon successo commerciale essendosi rivelati utili per le attività della OCR, optical character recognition, e per il riconoscimento del parlato.

Questi nuovi metodi del connessionismo tuttavia richiedevano elaborazioni molto massicce e sono state rese di uso praticodiffuso solo dai rilevanti progressi della microelettronica ottenuti con la messa in produzione dei circuiti MOS e VLSI, anche questi progressi inquadrabili nella legge di Moore.

J46 c.08 Questi successi tuttavia hanno portato a molte iniziative che ancora hanno sottovalutato le esigenze da soddisfare per applicare i metodi AI recenti a numerose applicazioni concrete e i relativi costi.

Nel contempo si è riscontrato che molti degli obiettivi del progetto Quinta Generazione giapponese erano ben lontani dall'essere raggiunti, in particolare quelli riguardanti l'elaborazione dei linguaggi naturali.

Si sono avuti i fallimenti di molte aziende che si erano gettate nel settore senza le necessarie competenze e sono diminuiti gli investimenti che erano cresciuti poco prudentemente negli anni precedenti.

In definitiva il settore è andato verso una bolla economica e si è avuto un secondo inverno della AI durato all'incirca dal 1987 al 1993.

Anche in questi anni tuttavia si sono avuti progressi significativi, in buona parte grazie al perdurare dei progressi del mondo ICT.

All'interno degli ambienti AI durante il secondo inverno si è sviluppata una seria analisi critica dei mancati successi che ha portato soprattutto al riconoscimento della necessità di cambiare taluni paradigmi e taluni generi di approccio, tanto da far parlare di una Nouvelle AI.

Molti ricercatori alla fine degli anni 1980 hanno sostenuto un approccio alla AI ispirato alla robotica, con il convincimento che molti strumenti per essere efficaci dovessero avere un corpo in grado di percepire l'esterno e quindi di muoversi e di agire materialmente.

Inoltre si è consolidata la convinzione che le capacità sensomotorie dei sistemi biologici che artificiali non fossero meno importanti delle capacità di ragionamento tradizionalmente chiamate superiori, giungendo a definire quello che è stato chiamato il paradigmachiamato dell'embodied mind.

J46 c.09 Nell'area AI si è dato peso al cosiddetto paradosso di Moravec, secondo il quale l'evoluzione aveva dotato gli umani (e altri animali) di capacità sensomotorie che richiedono molto più impegno, in termini computazionali, di quello richiesto dal ragionare, andando in tal modo contro la scala delle valutazioni imposte dalla tradizione culturale prevalente nell'Europa nell'ultimo medio evo, nel rinascimento, nella rinascita scientifica e nella rivoluzione industriale.

Si è quindi riconosciuto che ci si dovesse aspettare che le difficoltà per l'imitazione degli umani fossero maggiori per i loro comportamenti inconsci (tradizionalmente sottovalutati) che per le loro prestazioni logico-comunicativo.

Tra le capacità inconscie si è attribuita grande importanza al riconoscimento delle facce delle persone, all'interpretazione delle intenzioni di chi ci sta attorno, all'attenzione verso oggetti ed eventi che ci circondano e alle valutazioni delle molteplici attività sensomotorie.

Per migliorare l'imitazione delle attività umane si è riconosciuto che fosse necessario rivedere molte delle basi dell'AI.

J46 c.10 È quindi ripresa l'attenzione verso la cibernetica e la teoria del controllo, è cresciuta l'attenzione verso la visione come processo naturale e come compito artificiale, mentre le attività di elaborazione simbolica sono passate in secondo piano.

A questo hanno contribuito anche analisi più realistiche dei comportamenti umani sviluppate in ambienti della psicologia e della sociologia e conseguentemente sono state formulate proposte più fondate sulle attività umane che si intendevano imitare.

In particolare si è riconosciuto il fatto che molti comportamenti umani sono poco logici, ma molto influenzati dalla emotività, e che per realizzare sistemi che interagiscono con le persone occorre far crescere la conoscenza del cosiddetto common sense.

Tuttavia anche dopo i ripensamenti suddetti la reputazione della intelligenza artificiale nel mondo produttivo ha continuato a rimanere bassa.

In quegli anni è accaduto che fossero ottenuti vari successi senza che fosse dichiarato apertamente la loro derivazione da metodi della AI, anche da metodi non particolarmente innovativi ma rafforzati grazie a numerosi miglioramenti di tecniche consolidate e grazie ai continui progressi della microelettronica (componenti MOS) e alla conseguente attenuazione delle limitazioni dei motori computazionali e inferenziali.

J46 c.11 Nel 1997 ha avuto ampia risonanza la vittoria del sistema Deep Blue di IBM sul campione mondiale di scacchi in carica Kasparov; va osservato che la velocità di DeepBlue era 10 milione di volte superiore a quella della prima macchina giocatrice di scacchi disponibile nel 1951.

Questo risultato ha portato a un rilevante aumento della popolarità nei confronti dei progetti di tecnologia digitale ed è stato seguito da altri successi ottenuti nell'ambito di vari tipi di competizioni con risonanza pubblica.

Nel 2005 un robot della Stanford University ha vinto un concorso dell'agenzia DARPA guidando autonomamente in tracciati desertici per un paio di centinaia di chilometri; due anni dopo un'auto a guida autonoma della Carnegie Mellon University ha vinto un altro concorso della DARPA riuscendo a muoversi per 80 chilometri nel traffico urbano.

Nel 2011 il sistema Watson della IBM finalizzato a dare in autonomia risposte a domande ha partecipato al popolare spettacolo di quiz Jeopardy ed ha battuto i campioni di questa specialità.

J46 c.12 Negli anni 1990 aveva cominciato a imporsi il nuovo paradigma degli agenti intelligenti, per merito di Judea Pearl, Alen Newell e altri che hanno cominciato a immettere nelle ricerche e negli sviluppi dell'AI tecniche e metodi dell'economia e della teoria delle decisioni.

Un agente intelligente si può vedere come fusione dei concetti di modulo e di oggetto cresciuti nella programmazione dei computers con il concetto di agente razionale, entità che agisce tendendo continuamente ad operare nel modo più conveniente consentito dalle sue risorse e dalle sue conoscenze correnti.

Questo paradigma vede l'AI come studio di agenti intelligenti che si avvale dell'esame dell'intelligenza manifestata sia degli uomini che delle varie organizzazioni umane (primariamente delle aziende) quando si trovano ad affrontare problemi circoscritti.

Il paradigma si propone di trovare soluzioni convenienti e verificabili adottando un linguaggio di lavoro che consenta di condividere le soluzioni tra diversi campi applicativi mediante astrazioni che ricorrono

alla teoria del controllo e alla scienza economica, nella prospettiva di giungere ad una architettura degli agenti (un esempio è dato dalla SOAR di Newell) che permetta di mettere a punto agenti versatili e anche sistemi di agenti capaci di interagire costruttivamente.

J46 c.13 Negli anni intorno al 2000 si è avuto anche lo sviluppo di metodi matematici più rigorosi e complessi che potessero essere adottati in sistemi più articolati e ambiziosi dei precedenti; questo è dovuto anche al riconoscimento della opportunità di sviluppare strumenti concettuali apposti per l'AI negli ambienti della matematica, dell'ingegneria elettronica, della ricerca operativa, dell'ottimizzazione e della statistica.

In particolare sono state adottate impostazioni matematicamente più fondate dei due paradigmi computazionali delle reti neurali e degli algoritmi evolutivi.

Questi strumenti concettuali definiti con maggiore precisione, insieme al crescente utilizzo del WWW e dei suoi molti servizi, hanno anche consentito la crescita delle collaborazioni e la maggiore rapidità di dispiegamento e di consolidamento dei risultati recenti che sono diventati più misurabili e più dimostrabili.

In quegli anni si è presa in considerazione la cosiddetta contrapposizione tra ricercatori "neats", meticolosi e sistematici, ed i ricercatori "scruffies", trasandati e spesso poco precisi, ma potenzialmente più creativi.

Dopo un periodo di popolarità degli scruffies, i neats hanno preso la rivincita pochi anni dopo in occasione del riemergere dei metodi connessionistici con i loro contributi alle attività innovativamente incisive del machine learning.

Va segnalato anche che in quegli anni si sono consolidati insegnamenti universitari della AI e in particolare è comparsa la prima edizione del trattato di Russel e Norvig, molto più comprensivo delle precedenti pubblicazioni sulle tecniche e i metodi dell'area AI, in genere piuttosto settoriali e spesso indeboliti da polemiche.

Inoltre ha assunto sempre maggiore importanza la proposta di Judea Pearl a favore del ragionamento stocastico e dell'adozione nei prodotti AI di componenti quali le reti bayesiane, i modelli nascosti di Markov, la teoria dell'informazione, la modellizzazione e l'ottimizzazione.

J46 c.14 Molti algoritmi sviluppati per gli scopi dell'AI in quel periodo sono stati inseriti per aumentarne l'efficacia nei sistemi computazionali rivolti a obiettivi diventati usuali quali: data mining, motori di ricerca, robotica industriale, logistica e trasporti, diagnosi medica e software bancario-finanziario. Spesso questi arricchimenti si dichiaravano derivati dall'area di ricerca interessata ai sistemi basati sulla conoscenza, ai sistemi cognitivi o alla cosiddetta intelligenza computazionale; questo era sempre dovuto al timore dei proponenti che nel caso si fossero dichiarati sostenitori della AI avrebbero rischiato di essere accusati di essere dei sognatori a occhi aperti.

Accadeva invece che molti compiti svolti dagli umani che i critici della AI avevano giudicati impossibili da far svolgere accettabilmente da sistemi artificiali, stavano in buona parte diventando attività che potevano essere automatizzate affidabilmente e vantaggiosamente entro attività da considerare usuali. Si sono anche ottenuti progressi decisivi nella automazione di attività di supporto ai sistemi di AI: riconoscimento dei caratteri manoscritti, riconoscimento del parlato, visione artificiale.

Inoltre la progettazione dei robots si è avvantaggiata dal riconoscimento sempre più consapevole che gli umani dedicano più risorse mentali alla esecuzione di azioni compiute istintivamente come il camminare in equilibrio e coordinare le percezioni dei diversi sensi che non alle attività tendenzialmente razionali svolte consciamente.

J46 d. Risultati recenti dell'Intelligenza artificiale

J46 d.01 Negli anni iniziali del secolo attuale si sono avuti progressi di grande importanza grazie alle possibilità consentite dall'ICT come l'ubiquità, la versatilità e la portata di Internet, l'esplosione dei telefoni mobili e smart, l'abbondanza di contenuti ipertestuali e multimediali facilmente riutilizzabili e i numeri degli utenti sempre più in grado di informarsi (ma anche di venire influenzati e disinformati) e le prestazioni di servizi in concorrenza e sempre più pervasivi (e spesso pervicacemente invasivi).

Convenzionalmente si può collocare l'inizio del periodo più recente dello sviluppo della AI nel 2007 con la disponibilità dei primi smart phones. Questo tipo di prodotto ha avuto una diffusione enormemente rapida, vasta e ricca di conseguenze, tanto che molti lo giudicano il tipo di prodotto innovativo in assoluto di maggiore successo della storia.

Gli smart phones si sono rivelati strumenti efficienti, maneggevoli e multifunzionali, si sono imposti come i più importanti dispositivi per la connettività interpersonale e hanno superato i personal computers come strumenti per la informazione personale, per la fruizione di servizi e per la riorganizzazione dei collegamenti sociali.

Negli anni 2010 si stava anche riscontrando la rapidissima crescita dell'uso di Internet e di WWW, ambienti che in poco tempo erano diventati pienamente accessibili dai telefoni cellulari di recente produzione.

Questi strumenti sono utilizzati da miliardi di persone e stanno plasmando un ambiente socioculturale ampiamente e vantaggiosamente favorevole a molte delle applicazioni dell'Intelligenza artificiale.

Inoltre la forte crescita della connettività tra le persone ha comportato nuovi scenari per servizi e organizzazioni che possono essere oggetto di proficui interventi operativi da parte di sistemi dell'AI.

J46 d.02 L'enorme utilizzo di Internet e smart phones insieme al crescente utilizzo della ICT nelle attività produttive, commerciali e amministrative ha dato un forte contributo alla generazione di dati facilmente registrabili e organizzati secondo modalità che favoriscono la riutilizzabilità.

Alla generazione di dati sta contribuendo anche la crescita di IoT, di Internet delle cose, per le sue capacità di ricavare dati dal mondo reale e di mappare la interconnettività dei propri dispositivi.

Queste tendenze hanno contribuito alla progressiva rapida crescita dell'importanza dei dati in quanto fattori determinanti per molte decisioni e per nuove iniziative.

Si è quindi assistito alla nascita e allo sviluppo del settore detto dei **big data**, ossia delle grandi collezioni di dati che per essere catturati, immagazzinati, gestiti ed elaborati richiedono nuovi strumenti hardware, software, metodologici e concettuali.

Oltre alle tecniche per padroneggiare le grandi quantità di dati si pongono le questioni della loro qualità, enunciate spesso come esigenze delle cosiddette 5V: volume, velocità, varietà, valore e veracità.

J46 d.03 Si pongono anche i problemi della loro elaborazione profittevole da parte di attori industriali e di poteri di vario genere che si sono massicciamente mobilitati per ricavare, da attente elaborazioni dei dati stessi, vantaggi molto rilevanti; una buona parte di tali vantaggi in precedenza non erano neppure immaginabili e questo sta avendo un mare di conseguenze che richiedono l'attenzione di tutti.

Il settore industriale dei big data è cresciuto rapidamente dal 2002, anno dell'inizio del suo pieno riconoscimento giungendo già nel 2010 ad un valore di 100 miliardi di dollari e con una successiva crescita annua che molti valutano intorno al 10%.

Tra le applicazioni dei big data vanno citate:

registrazioni governative per scopi civili e statistici;
applicazioni finanziarie per operazioni commerciali, per decisioni riguardanti investimenti e per operazioni assicurative;
azioni per la gestione dei rischi;
attività per la cura della salute attraverso la gestione delle cartelle cliniche digitali, la diagnosi assistita da computer e la ricerca esplorativa in biomedicina.

J46 d.04 Occorre osservare che la tecnologia dei big data è essenziale per la conduzione di svariate imprese scientifiche impegnative.

Anzi va detto che molte di queste imprese, soprattutto quelle di portata internazionale, non sarebbero state neppure concepite senza le tecnologie dei big data.

Nel corso della pandemia del COVID-19 sono state trattate grandi quantità di dati per contenere l'impatto della malattia.

La Sloan Digital Sky Survey raccoglie dati astronomici al ritmo di 200 gigabytes ogni notte.

Il centro della NASA per la simulazione del clima dispone di 32 petabytes di osservazioni da tutto il mondo che utilizza mediante un cluster per supercalcolo.

Gli esperimenti condotti presso il Large Hadron Collider del CERN richiedono di trattare le informazioni provenienti da 150 milioni di sensori al ritmo di 40 milioni di dati al secondo; di questi ne viene filtrata solo una centomillesima parte, ma comunque si devono immagazzinare oltre 500 exabytes ogni giorno.

Le grandi aziende tecnologiche come Amazon, eBay, Facebook e Google devono servirsi di grandi quantità di dati che sono cruciali per le loro attività.

Le grandi organizzazioni per le vendite al dettaglio e i grandi gestori di carte di credito si servono dei big data per gestire pagamenti e transazioni.

In molti paesi, in particolare Cina, India, USA, UK e Israele, i big data sono adottati per molteplici scopi: controllo delle opinioni e dei comportamenti della popolazione, competizioni elettorali, controllo della fruizione di farmaci e droghe da parte della popolazione, gestione dell'assistenza ai malati.

J46 d.05 I duraturi rilevanti progressi della microelettronica negli ultimi anni l'hanno fatta diventare quella che viene chiamata "nanoelettronica" ossia la tecnologia che riguarda dispositivi i cui componenti si collocano a distanze di pochi nanometri, cioè di pochi miliardesimi di metro.

Essa riesce a produrre circuiti integrali sempre più prestanti, anche nelle direzioni del parallelismo, della specializzazione (come i chips di supporto alle attività di machine learning e i chips progettati a imitazione di sistemi neuronali biologici), della integrazione delle funzioni di calcolo e della disponibilità con bassissima latenza di estesi banchi di memorie.

Tutti questi progressi hanno indotto una crescita delle collaborazioni internazionali e multidisciplinari e la crescita della domanda di procedimenti digitali e di grandi raccolte di dati in settori importanti come la cura della salute (chirurgia assistita da robots, raccolta e utilizzo sistematico delle cartelle cliniche elettroniche), come la farmacologia (sviluppo e controllo di nuovi farmaci), come la ricerca in biologia (sequenziamento del genoma umano, bioinformatica).

Molti successi sono stati ottenuti con prestazioni di machine learning (ML) ottenuti con sistemi addestrati fornendo loro enormi quantità di dati riguardanti comportamenti che i sistemi stessi riescono ad imitare e informazioni che i sistemi riescono, in qualche modo, a far proprie.

Questi dati di addestramento sono ottenuti per la maggior parte da Internet con tecniche sviluppate nel settore dei big data e in buona parte provenienti dall'area della stessa AI.

J46 d.06 I progressi probabilmente più influenti degli anni più recenti riguardano l'apprendimento automatico e più in particolare il cosiddetto **deep learning**, l'apprendimento profondo.

Questo è il genere di procedimento che modella la comprensione dei dati ad un alto livello di astrazione servendosi di reti neurali rappresentabili con digrafi graduati costituiti da grandi quantità di nodi organizzati in numerosi strati che vengono sottoposti a elaborazioni rette da algoritmi sensibilmente differenziati che vengono definiti con criteri che danno molto credito alla statistica e all'euristica.

Queste reti dal punto di vista della matematica hanno il compito di approssimare le funzioni continue le cui variabili indipendenti corrispondono agli impulsi immessi nei nodi del primo strato e le cui variabili dipendenti corrispondono ai segnali forniti dai nodi dell'ultimo strato.

Le proprietà matematiche di queste funzioni da approssimare vengono studiate dai cosiddetti teoremi di approssimazione universale.

Questi segnalano che tutte le funzioni continue possono essere approssimate con reti poco profonde, ma se si disponesse solo di pochi strati si incontrerebbero varie criticità.

In particolare si incontrerebbe l'effetto di overfitting, ossia la difficoltà che una rete neurale precisata a partire da un particolare set di dati di addestramento possa adattarsi a dati di altra provenienza o con altre caratteristiche per effettuare delle buone previsioni.

Le reti con numerosi strati risultano in effetti in grado di individuare modelli più complessi e vanno considerate strumenti decisamente più versatili.

J46 d.07 Anche le reti multistrato non sono facili da utilizzare.

Le cosiddette reti neurali ricorrenti presentano il problema detto del gradiente che svanisce, per il quale i gradienti passati attraverso i vari strati tendono a ridursi fortemente fino anche a scomparire.

Queste difficoltà hanno condotto a introdurre numerosi accorgimenti che potessero superarle, ad esempio le memorie di lungo-breve termine.

Gli studi articolati e complessi di queste reti neurali spesso sono condotti con procedimenti empirici consentiti dalla disponibilità e dalla prestanza di processori con velocità molto elevate quando sono destinati alla analisi di reti neurali di tipi molto specifici.

Questi procedimenti hanno portato a rilevanti risultati, in particolare a strumenti di diagnostica che spesso si dimostrano più efficienti e accurati degli operatori umani esperti.

I settori applicativi che sono stati maggiormente interessati nei primi anni dell'utilizzo dell'apprendimento automatico sono l'elaborazione del linguaggio naturale, la traduzione automatica, i sistemi per rispondere a domande su vari argomenti (come il sistema Watson), i giochi combinatori a informazioni complete nei quali si possa migliorare lo stile di gioco (come l'alta competitività dei sistemi automatici in grado di affrontare il gioco del Go) e varie attività scientifiche sperimentali sulle quali ritorneremo più avanti.

J46 d.08 Confidando nelle prestazioni provenienti dall'area AI, negli anni recenti sono stati ideati e realizzati progetti scientifici sensibilmente più arditi e complessi di quelli del passato: scoperta del bosone di Higgs, realizzazione della stazione spaziale James Webb e interpretazione delle sue osservazioni, radioosservatori astronomici, lancio e controllo coordinato di costellazioni di satelliti artificiali, missioni di sonde spaziali robotiche, modelli delle reti neurali biologiche,

Altri progressi scientifici che sono stati recentemente resi possibili dagli avanzamenti del settore ICT che hanno potuto diventare concretamente produttivi in tempi contenuti grazie a strumenti e metodi della intelligenza artificiale.

Citiamo innanzi tutto le cosiddette scienze omiche: genomica epigenomica, microbiomica, proteomica, metabolomica; questo si occupano del funzionamento di interi sistemi fisiologici in quanto determinato

da estesi insiemi di parametri e quindi della dinamica delle grandi quantità di valori che tali parametri assumono.

Le scienze omiche, unitamente alle conoscenze della biochimica quantistica e alla disponibilità di strumentazioni di indagine sperimentale avanzata, stanno rendendo concretamente progettabile e realizzabile la medicina personalizzata.

Tra le suaccennate strumentazioni accenniamo i vari tipi di microscopi elettronici, gli spettrometri e i metodi di analisi chimica avanzata; va ricordato anche che sono tutte debitrice verso l'area AI di procedimenti e di metodologie che rendono efficaci elementi cruciali del loro funzionamento e dei meccanismi per la gestione e l'interpretazione delle masse di dati che essi forniscono.

J46 d.09 Una attenzione particolare dovuta alle loro tante ricadute meritano i recenti progressi nella traduzione automatica e nel trattamento dei linguaggi naturali.

Questi hanno resa possibile la realizzazione dei cosiddetti chatbots, robots software in grado di conversare con le persone, e la costruzione di sistemi generativi in grado di redigere testi e tracciare immagini a imitazione di quelli di produzione umana.

Anche questi sistemi sono ottenuti attraverso la riutilizzazione delle informazioni organizzate mediante patterns ricavate da enormi quantità di testi e di immagini.

J46 d.10 Negli anni recenti si sono riscontrati interessanti progressi nella cosiddetta AGI, artificial general intelligence, ossia negli studi che si dedicano primariamente alla ricerca di procedimenti e, soprattutto, di metodi capaci di risolvere ampie problematiche, mettendo in secondo piano la soluzione di problemi particolari; questi studi, comprensibilmente, nel passato spesso hanno corso il rischio di rimanere nel vago, di limitarsi a delineare prospettive.

Intorno al 2018 si sono iniziati a studiare i cosiddetti modelli fondazionali, ossia modelli per procedimenti di intelligenza artificiale molto articolati e da addestrare con grandi varietà e quantità di dati, che possano essere adattati ad ampie gamme di compiti specifici.

In genere il loro addestramento viene condotto con procedimenti di self-supervised learning e di semi-supervised learning.

I primi esempi di modelli fondazionali hanno riguardato i cosiddetti LLMs, i large language models, e in particolare quelli chiamati GGTs, Generative Pretrained Transformers, destinati alla generazione di testi per prestazioni dialogiche.

Tra questi modelli i primi ad avere vasto successo sono quelli della serie GPT-n realizzati da OpenAI, i quali, anche grazie alla collaborazione e ai contributi di MicroSoft, vengono resi disponibili a un'ampia platea di sperimentatori volontari nella forma di chatbots e in particolare come i recenti chatGPT-4 e chatGPT-5 che contribuiscono a sperimentarlo, a fornire nuovi dati e a suggerire come migliorarlo.

Questo modo di far evolvere i chatbots viene attualmente adottato da altri giganti del Web: Google con Gemini, Meta con ??, Amazon con AWS, Anthropic con Claude, cinese con DeepSeek .

Si sono prodotti anche dei modelli fondazionali visuali e multifunzionali in grado di generare immagini e animazioni a partire da descrizioni verbali delle prestazioni richieste.

Questi modelli attualmente possono essere personalizzati con relativa facilità.

Questi prodotti nel 2023 sono stati oggetto di numerosi dibattiti concernenti le opportunità che aprono e i rischi che fanno intravedere.

In particolare si è avuto un grande sciopero di protesta da parte di sceneggiatori e attori del cinema americano, preoccupati della prospettiva di essere rimpiazzati da sistemi di intelligenza artificiale per la generazione di filmati.

Ad esempio verso la fine del 2025 si sono iniziati a vedere brevi filmati pubblicitari aventi come protagonista un simpatico gatto famelico.

Questi tipi di artefatti vengono soprattutto utilizzati per lavori di propaganda politica che non si preoccupa di generare disinformazione e fake news.

J46 e. Videogiochi e prospettive del metaverso

J46 e.01 Un settore industriale, commerciale e anche culturale che nell'epoca del digitale ha assunto grande rilievo è quello dei giochi elettronici, mentre una prospettiva ricca di attrattive, ma ancora poco definita, è costituita dal cosiddetto metaverso, scenario che con i videogiochi ha molti elementi in comune.

Sono oggi molti milioni le persone che dedicano gran parte del loro tempo libero a giochi di vario genere basati su dispositivi e su sistemi distribuiti consentiti da tecnologie digitali e in molti casi caratterizzate da complessità e difficoltà realizzative.

I giochi digitali con la struttura più semplice sono praticati da un singolo giocatore che si confronta con un avversario retto da un computer, da uno smartphone, da un tablet o da una console tascabile o elaborata che in genere costituisce un prodotto rilevante per un settore industriale importante chiamato settore del gaming.

J46 e.02 Giochi strutturalmente più elaborati riguardano più giocatori ciascuno dei quali si immerge in un ambiente di realtà aumentata o virtuale servendosi di un apposito visore, di un casco o di un cosiddetto head che gli fornisce l'impressione di trovarsi in un ambiente con elementi realistici.

Di questo ambiente il giocatore è in grado di percepire gli elementi che nei suoi confronti possono essere sia passivi, solo da osservare. che attivi e reattivi; inoltre dell'ambiente possono far parte altri giocatori con i quali può interagire vuoi cooperativamente, vuoi competitivamente.

Tutte le rappresentazioni visive, sonore e animate dell'ambiente e della sua dinamica, alla quale contribuiscono anche le azioni decise dai giocatori, vengono controllate e aggiornate da un sistema digitale che non può che essere molto complesso e impegnativo.

Infatti deve riuscire a controllare tutti i giocatori, che potrebbero trovarsi anche in diverse località reali molto distanti; inoltre in taluni giochi deve gestire eventi collaterali determinati da conseguenze anche indirette di azioni e di reazioni dei giocatori.

Questo ambiente deve essere fatto evolvere in tempo reale in conseguenza di scelte dello stesso sistema che ha il ruolo di controllore e regista delle azioni che i giocatori hanno la sensazione di compiere.

In tal modo i giocatori hanno l'impressione di influire concretamente su uno scenario reale che li circonda.

J46 e.03 Questo scenario nelle realizzazioni attuali e in quelle prospettate si può presentare in molte varianti.

Oltre alle sensazioni visive e sonore in taluni casi vengono gestite sensazioni tattili imputabili agli oggetti e ai processi simulati con i quali ogni giocatore viene in contatto virtuale; queste sensazioni vengono provocate da opportuni attuatori la cui percezione deve essere gestita in sincronia con tutti gli altri eventi che vengono simulati.

Tra gli eventi collaterali si possono avere scambi di messaggi tra giocatori e persone o siti esterni, consultazioni di fornitori di informazioni tramite Internet, ricezione di news da agenzie informative che operano nel mondo reale.

Inoltre possono essere gestiti acquisti effettivi di prodotti commercializzati appositamente tramite il metaverso, transazioni finanziarie riguardanti acquisti e scambi fra i giocatori ed entità con un corrispondente reale (ad esempio un servizio di prenotazione in linea).

J46 e.04 Gli scopi dei giochi possono essere svariati:

scoperta di scenari giudicati attraenti (vuoi piacevoli o generatori di curiosità, vuoi all'opposto inquietanti o spaventosi);
soluzione di quesiti di carattere nozionistico, culturale o logico-computazionale;
evitare pericoli in agguato;
ammazzare nemici che possono anche comparire all'improvviso;
salvare una principessa di bell'aspetto imprigionata;
arredare un'abitazione;
costruire un edificio o una intera città;
esaminare e provare virtualmente un'automobile da poco immessa nel mercato;
scegliere vestiti e possibilmente comprarli e farseli consegnare nella casa realmente abitata.

J46 e.03 I giochi che prevedono molti giocatori ne gestiscono da alcune decine ad alcuni milioni ed è evidente l'impegno computazionale che richiede il controllo degli avatar di persone che si trovano in locazioni reali diverse per farle interagire tra di loro per collaborare o per competere e farle interagire con ambienti virtuali che possono essere condivisi da tutti oppure condivisi solo da gruppi autorizzati, ambienti che possono avere composizioni mutevoli soggetti a trasformazioni variamente determinate. In uno di questi casi si deve avere la gestione di un sistema informatico-telematico che controlla e reagisce alle azioni effettuate dai vari giocatori (decine, migliaia o milioni) con prestazioni di controllo di entità distribuite e concorrenti.

I giochi che consentono transazioni finanziarie fra i giocatori in genere si servono di criptovalute che possono corrispondere a valute reali e che potrebbero rendere possibili movimenti di somme ragguardevoli.

Tra le situazioni che comportano transizioni finanziarie vi sono: partecipare ad un'asta con possibile acquisto effettivo; fare dello shopping con la possibilità di esaminare i dettagli dei prodotti acquistabili e talora di indossarli e di provare quanto sia facile o piacevole farli funzionare.

Questo complesso molto aperto di possibilità evidentemente desta molti interessi commerciali e culturali e ha effettivamente richiamato investimenti rilevanti.

J46 e.04 Segnaliamo ora alcune delle più interessanti iniziative che si muovono nella direzione del metaverso.

Nel 2003 Linden Labs ha lanciato *Second Life*, piattaforma che per prima ha indotto gli ambienti degli sviluppatori digitali a pensare seriamente alla costruzione di una esistenza parallela collocata in uno spazio virtuale.

Dopo aver attratto nel corso di un anno oltre un milione di utenti abituali, *Second Life* ha visto l'adesione di aziende come Adidas e Wells Fargo, di organismi come American Cancer Society e Save the Children e di università come Harvard, organismi tutti attratti dalle prospettive di propri interventi erogati da una piattaforma allettante.

Nel 2007 *Second Life* si è dotata di una borsa valori in grado di aiutare le aziende con una sussidiaria sulla piattaforma e in grado di raccogliere finanziamenti utilizzando la valuta virtuale chiamata Linden Dollar.

È determinante il fatto che sulle operazioni portate avanti dai vari utenti Linden Labs non interviene, ossia si comporta non come un capitalista desideroso di interessenze, ma come un governo liberale che promuove attività che giudica in qualche modo proficue e si limita a fornire servizi e attestati.

Con tale atteggiamento la piattaforma ha attratto sviluppatori di oggetti virtuali e di servizi acquistabili che aumentano i motivi di attrattiva verso la piattaforma stessa; questa dinamica ha portato la

piattaforma nel 2009 a raggiungere un PIL di mezzo miliardo di dollari annui, e ha consentito a suoi utenti, in particolare ai suoi sviluppatori, di incassare 30 milioni di dollari reali.

J46 e.05 Negli anni 2010 le piattaforme Minecraft e Roblox hanno ampliato il modello di Second Life rendendolo popolare presso il grande pubblico grazie a miglioramenti tecnici significativi che hanno attratto soprattutto bambini e adolescenti; questi vengono sollecitati a compiere azioni facili da controllare e auspicabili portatrici di effetti gratificanti.

Per arricchire la dotazione di Minecraft hanno lavorato migliaia di sviluppatori che hanno costruito città virtuali per milioni di abitanti; nel 2015 Verizon ha reso disponibile un cellulare in grado di inviare e ricevere telefonate con il mondo reale; nel 2020 Reporteurs sans Frontières ha realizzato un museo virtuale; l'iniziativa The Uncensored Library ha consentito a cittadini di paesi dispotici di leggere testi proibiti dalle rispettive censure.

Nel 2014 Microsoft ha acquistato Minecraft e, grazie alla sua visibilità è in seguito riuscita a sestuplicare i suoi utenti che nel 2021 hanno raggiunto i 150 milioni.

La piattaforma sua concorrente maggiore, Roblox, nello stesso anno ha raggiunto i 225 milioni di utenti giornalieri e afferma che nel 2020 il 75% dei giovani statunitensi tra i 6 e i 9 anni hanno frequentato con regolarità i propri ambienti virtuali.

Su Roblox è disponibile il gioco Adopt me! che prevede che i partecipanti facciano schiudere uova di animali addomesticati che potranno essere allevati e scambiati.

Nel 2021 il mondo di Adopt Me! è stato visitato più di 20 miliardi di volte, numero che è 15 volte il numero delle visite turistiche effettuate nel mondo nel 2019.

Alla fine del 2021 Roblox aveva pagato più di un miliardo di dollari agli sviluppatori di contributi alla piattaforma e era diventata la maggiore azienda di video giochi, ma limitatamente a quelle che operano al di fuori della Cina.

J46 e.06 Il complesso di portata internazionale dedicato ai giochi comprende progettazione, produzione di dispositivi hardware e software, definizione di modelli visivi e sonori e strategie tecnologiche, psicologiche e sociologiche.

Esso ha coinvolto in misura crescente ricerche informatiche e psicologiche tra le più avanzate, aziende tecnologiche tra le più potenti, start-up tra le più innovative, investimenti di parecchi miliardi di dollari/euro/remimbi/yen, decine di migliaia di sviluppatori e centinaia di milioni di utenti.

J46 e.07 La nozione di metaverso è nata nel mondo della fantascienza, e in particolare da un romanzo di Neal Stephenson pubblicato nel 1992 dal titolo *Snow Crash*; in esso si descriveva un mondo virtuale che persiste nel tempo, è popolato da milioni di avatars controllati da persone reali e coinvolge un po' tutti gli aspetti dell'esistenza umana.

Questo tipo di mondo è stato ripreso da varie altre narrazioni e si ritrova in molti tra i sistemi di videogiochi di maggiore successo.

Le esigenze di strumenti avanzati, che hanno un mercato decisamente fiorente mosso dalla crescente propensione verso l'intrattenimento degli abitanti dei paesi più sviluppati, hanno portato allo sviluppo di tecnologie digitali tra le più impegnative e prestanti.

Una industria internazionale tra le più importanti e dinamiche è Nvidia, produttrice dei processori chiamati GPU, graphic processing units, tra i più veloci e richiesti anche dai maggiori centri di supercalcolo.

Nei sistemi che puntano a costruire metaversi si devono utilizzare le maggiori tecnologie dell'Intelligenza artificiale, controllo interattivo su ambienti enormi, visione artificiale, elaborazione di più linguaggi naturali, simulazione di azioni fisiche e tattili e molto altro.

Per realizzare metaversi il più possibile attraenti si devono rendere disponibili ambienti e prestazioni molto impegnative e molto articolate. Non è facile quindi prevedere se e quando saranno affidabilmente e soddisfacentemente disponibili le piattaforme che sono state promesse in questi ultimi anni.

J46 e.05 Attualmente le prospettive del metaverso e della disponibilità di ambienti virtuali nei quali si possano ottenere vantaggi notevoli con l'impiego di risorse caratterizzate dalla quasi immaterialità sono molto promettenti, molto variegate, ma tutt'altro che definite.

Sulle sue conseguenze i pareri sono contrastanti, come per molte altre previsioni sulle varie tecnologie con possibilità di successo e che potranno influenzare in misura rilevante la società

Gli ottimisti pensano alle possibilità per l'istruzione sull'onda dei risultati positivi già ampiamente riscontrati per attività come l'addestramento al volo e alla conduzione di apparecchiature complesse, costose e/o pericolose.

Inoltre si manifesta molta fiducia sulle possibilità di scelta negli acquisti di prodotti esaminabili realisticamente senza spostarsi dal proprio appartamento e si ha grande attenzione alle promesse di iniziative innovative per l'intrattenimento e il tempo libero.

I pessimisti temono la diffusione della perdita del senso della realtà e la possibile prevalenza di organismi senza scrupoli che tramite qualche metaverso accresceranno la loro capacità di manipolare credenze diffuse e ingiustificate e di indurre a comportamenti vantaggiosi solo per loro.

J46 e.06 Nonostante le vistose prospettive che fa intravedere il Metaverso non si possiede una sua definizione ben definita, chiaramente articolata e sufficientemente condivisa.

Per orientarci possiamo tenere conto di quello che pensano alcune delle grandi aziende che si dichiarano direttamente interessate al metaverso.

Occorre tuttavia premettere che le loro previsioni / convinzioni/ proclamazioni sono evidentemente influenzate dai progetti che le singole aziende intendono o si augurano di sviluppare.

J46 e.07 La Microsoft descrive il Metaverso come una vastissima area di lavoro per le apps da potenziare con software per il cloud computing e il machine learning. Questo corrisponde al fatto che Microsoft possiede le tecnologie da impiegare per questo tipo di sviluppo: il diffusissimo sistema operativo Windows, i servizi di cloud computing Azure, il sistema di comunicazione Teams, il sistema per la realtà aumentata HoloLens, la console per gaming Xbox, la rete professionale LinkedIn, i videogiochi Minecraft ed MS Flight Simulator che si muovono nella direzione del Metaverso.

Mark Zuckerberg, leader di Meta, la finanziaria che è stata fatta diventare la proprietaria della rete social Facebook, si concentra sulla realtà virtuale immersiva e sulle possibilità di connettere socialmente persone che vivono distanti.

Questo è in sintonia con il fatto che Meta dispone della divisione Oculus, leader del mercato della realtà virtuale e con il fatto che Facebook è il social media più frequentato.

Epic Games, l'azienda proprietaria di Roblox, pensa invece il Metaverso come uno spazio digitalizzato comune in continua espansione entro il quale gli utenti possono muoversi liberamente tra molteplici brands in modo da esprimere al massimo la propria personalità di consumatori e in modo da realizzare al meglio i propri desideri.

Quindi il suo metaverso sarebbe una specie di parco giochi nel quale conversare e giocare con gli amici, guardare films on demand e provare a guidare virtualmente le automobili di alta gamma che nel mondo reale recentemente sono state rese disponibili oppure sono state lanciate con campagne pubblicitarie accattivanti.

J46 e.06 Considerati i forti investimenti che sono andati nella direzione del Metaverso, ma anche le delusioni che hanno portato a reflussi con numerosi licenziamenti nel mondo della produzione digitale avanzata, si può solo prevedere che si avranno numerosi sviluppi poco prevedibili e si può supporre che si avranno forti alleanze e aspri conflitti finanziari.

Testo fruibile in <https://www.mi.imati.cnr.it/alberto/> e https://arm.mi.imati.cnr.it/Matexp/matexp_main.php