1

Capitolo J46
intelligenza artificiale, breve storia

Contenuti delle sezioni

a. evoluzione delle tecnologie digitali p. 2
b. nascita dell'Intelligenza artificiale p. 7
c. crescita dell'Intelligenza artificiale p. 11
d. principali risultati dell'Intelligenza artificiale p. 17
e. videogiochi e metaverso p. 22
f. recenti tendenze p. 27

29 pagine

J46 a. evoluzione delle tecnologie digitali

J46 a.01 Lo sviluppo delle conoscenze e delle attività che si raccolgono sotto il termine "Intelligenza artificiale" qui abbreviato con AI, conviene presentarlo come prosecuzione della crescita delle tecnologie della informazione e della comunicazione, in acronimo ICT.

Dal periodo della seconda guerra mondiale a tutt'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 e ricadute.

Consideriamo un confronto effettuato nel 2024 (che andrebbe aggiornato) tra il computer che ha guidato Apollo 11 nel 1969 e un comune smartphone.
I dispositivi di memoria sono cresciuti di un fattore 1-7 milioni, si dispone di quantità di circuiti integrati maggiore 50 milioni di volte, le velocità di calcolo unitarie sono aumentate di circa 60 000 volte, il costo delle componenti è diminuito di un fattore 100 milioni, la diffusione è circa un miliardo di volte maggiore e si riscontra una versatilità molto superiore ma difficile da quantificare.

Questi aumenti hanno consentito una forte crescita della appplicabilità delle tecnologie ICT e hanno 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, con molta minore faticamolto e andare più in profondità.

J46 a.02 Si può anche sostenere che sono moltissime le questioni di elevato interesse che si potrebbero affrontare con buone prospettive di successo le quali purtroppo non sono affrontate seriamente a causa di gravi scollature culturali, della ridotta predisposizione delle competenze richieste, della impreparazione di molte infrastrutture e della resistenza ostile di non pochi centri di potere
A loro volta queste cause sonio in parte dovute ai rapidi e spesso instabili cambiamenti delle attività produttive, commerciali e amministrative, alle incerte decisioni dei comportamenti e, basilarmente, 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 ricerca e sviluppo che potranno essere affrontate con buone possibilità di successo.

Dopo le prime macchine elettromeccaniche per lavori amministrative mediante schede perforate, nel periodo delle seconda guerra mondiale sono stati realizzati i primi computers elettromeccanici e successivamente elettronici servendosi di relays e tubi termoionici.
Ricordiamo le cosiddette bombes sviluppate da Turing nel 1939 per decodificare la macchina codificatrice della whermacht.
Vanno poi ricordati i computerr Z3 di Konrad Zuse (1941) ancora elettromeccanico ma completamente programmabile (Turing completo), ABC di Atanasoff e Berry (1942) controllo elettromeccanico e calcoli binari elettronici, i vari Colossus realizzati dai criptoanalisti a Blatchley Park (1943-1945) i primo elettronici Turing completi ed ENIAC progettato e realizzato da John Mauchly e J. Presper Eckert (1945); quest'ultima macchina era finalizzata a calcoli balistici, pesava 30 tonnellate, conteneva 18000 tubi termoionicie 1500 relays e poteva eseguire 5000 addizioni o sottrazioni al secondo.

Mentre i primi elaboratori erano programmati con un pannello a connessioni, i successivi hanno avuto il programma in memoria, ben più facilmente sostituibile. Questa idea si trova nell'articolo di Turing

del 1936 che nel 1945 l'ha ripresa per il progetto di ACE; von Neumann quando ha visitato Turing ne è stato conquistato e l'ha adottata per progettare EDVAC.
Negli anni del dopoguerra nel Regno Unito e negli Stati Uniti sono stati portati avanti vari progetti di computers con la sperimentazione di nuovi componenti.
All'Università di Manchester è stato studiato il cosiddetto Manchester Baby, seguito dalla realizzazione di Manchester Mark 1 diventato operativo nel 1949; questo è stato rimpiazzato da Ferranti Mark 1, progettato da Frederic C. Williams e Tom Kilburn e nel 1951 è stato il primo computer disponibile commercialmente. Poco dopo sono stati commercializzati IBM 701 e IBM 702.
All'università di Cambridge nel 1949 è diventato operativo EDSAC realizzato da Wilkes a partire dal progetto EDVAC di von Neumann.
Nel 1950 ha iniziato a operare Automatic Computing Engine (ACE), seguito da MOSAIC computer, operativo nel 1955.

Importanti progressi si sono ottenuti con l'adozione della memoria a nuclei di ferrite (adottati nel 1953 sulla macchina realizzata presso l'MIT chiamata Wirlwind), con l'adozione di memorie su tamburo e su nastro magnetico, con l'adozione delle telescriventi come unità di input output e con la sostituzione a partire dal 1955 delle valvole termoioniche con i transistors, componenti molto più piccoli, molto meno energivori e di durata ben maggiore.

J46 a.03 Con i primi computers a transistors si è cominciato a parlare di computers di seconda generazione.

Un grande successo commerciale è stato ottenuto dal modello IBM 1401 con 10000 unità istallate 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, utilizzate con i computers cone unità di entrata e uscita, anche collegate a distanze di centinaia di chilometri (per primo fu Stibitz); 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 amministrative e gestionali.

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.
All'inizio degli annni 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.

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 componente 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 subito rilevanti effetti sulla diffusione di una cultura informatica di base in migliaia di laboratori e diuffici amministrativi di 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 durata parecchi anni nella forma 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 questi strumenti hanno contribuito a 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.

In effetti un passo in avanti di grande importanza è stato consentito dalla 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, ngli anni successivi ha visto una continua vistosa crescita, sia sul piano tecnico, che su quello della adozione letteralmente di massa, crescita che ha cominciato a ridursi solo dopo la disponibilità di smart phones e di tablets.

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 comeulteriore conseguenza 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 orbite 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 necessarie e la sua realizzazione spesso accelerata dalla disponibilità di strumenti molto 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 sono state realizzate numerose 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.09 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.10 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 a.11 A partire dalla popolarizzazione dei sistemi chatbot disponibili al pubblico e agli organismi amministrativi e produttivi sviluppatasi a partire dal novembre 2022 con il lancio di ChatCPT di OpenAI, si è avuta una rapida crescita di interesse per l'Inteligenz Artificiale.
Questo ha portato a una rapida crescita delle computer farms che a metà del 2026 ha condotto a una crisi delle prestazioni computazionali da parte delle aziende di AI che si sono rivelate incapaci di soddisfare le richieste di potenza di calcolo e a rallentare la crescita dlle attività.

J46 b. Nascita dell'Intelligenza artificiale

J46 b.01 Il movimento per lo sviluppo dell'Intelligenza artificiale si può far nascere nel periodo della realizzazione dei primi conputers elettronici nella seconda metà degli anni 1940 con le discussioni tra ricercatori di campi afferenti a matematica, logica, tecnologie digitali e psicologia ai quali si sono in seguito aggiunti studiosi di linguistica, economia, sociologia e filosofia.

Le prime indagini vedono personalità lungimiranti (tra le quali Turing, Shannon, Wiener, McCulloch con Pits, Minsky, McCarthy, Chomsky) che si interrogano sui limiti delle possibilità operative dei computers in corso di progettazione e realizzazione e delle tecnologie collegate, oltre alle riconosciute capacità di queste macchine di eseguire calcoli numerici e di gestire grandi quantità di dati.

Tra le prime conoscenze messe a frutto vanno ricordate quelle riguardanti la computabilità di Turing e Church, la cibernetica di Wiener, 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 idee sviluppate intorno alla crittografia nel corso delle attività di decrittazione condotte a Bletchley Park, la teoria dei giochi iniziata da von Neumann e Morgenstern.

Nel 1950 Turing, in seguito ai suoi studi sulla elaborazione delle informazioni a sulla computabilità, 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 rette da regole deterministiche e con giocatori con 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 presentare a un vasto pubblico le possibilità degli strumenti e dei metodi sviluppati in questo campo di ricerca e sviluppo.

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 Darmouth College nel New Hampshire si è svolto un seminario al quale hanno partecipato Shannon, Minsky, McCarthy, Rochester e altri pionieri del movimento, incontro che viene considerato l'evento di fondazione come disciplina dell'Intelligenza artificiale e che ora è noto come **Darmouth conference**

Da questo seminario sono usciti il nome Artificial Intelligence, proposto da McCarthy e la definizione del suo primo obiettivo 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 promessse di rapidi progressi che sono riuscite ad ottenere ingenti 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 che si cerca di evitare tornando a cambiare scelte precednti.

Lo svantaggio possibile di questo approccio consiste nella eventualità che per gran parte delle scelte si renda necessario esaminare enormi quantità di situazioni; questo genere di manovre è convenientemente rappresentabile come movimenti su un albero le cui diramazioni corrispondono a scelte tra più possibilità. Questi alberi di scelte presentano moltissimi nodi e diramazioni e quindi richiedono tempi di analisi che possono rivelarsi enormi, in particolare tempi molto superiori a quelli imposti dall'urgenza delle decisioni corrispondenti.

La comparsa di queste difficoltà preticamente insostenibili 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, a cominciare dalla lingua inglese, di gran lunga la più utilizzata nelle comunicasioni scientifiche, industriali, finanziarie e diplomatiche.
I primi risultati discrtei sono stati ottenuti con l'uso delle 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 di fatto 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 buona parte della 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 Intorno al 1970, 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 sosteneva l'opportunità di concentrare gli sforzi su obiettivi di ampia portata il cui conseguimento aprisse 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, dovuto anche 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 l'atteggiamento del connessionismo, riprendendo le idee di McCulloch e Pits e forte della constatazione che il cervello degli organismi superiori opera mediante le connessioni elettriche tra neuroni, studiate già dagli ultimi anni dell'800 da Golgi e Ramón y Cajal.

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

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; questo ha portato a un diffuso discredito e all'abbandono delle ricerche su dispositivi e sistemi ispirati dal connessionismo, discredito che è prevalso per almeno una decina di anni e che ha continuato a pesare a lungo.

J46 b.07 I più riconosciuti successi di quegli anni hanno indotto non pochi esponenti del movimento AI a fare previsioni poco realistiche sui tempi necessari per mettere a punto sistemi con una buona padronanza di specifici 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; queste previsioni avevano procurato notevoli aspettative in organismi militari statunitensi e britannicie e consistenti finanziamenti da parte del BSRC, il British Science Research Council.

Queste previsioni si sono rivelate in massima parte esagerate, hanno portato a una inchiesta e a un rapporto redatto nel 1973 dal matematico James Lighthill nel quale veniva espresso pessimismo sulle possibilità delle procedure AI in corso di messa a punto per la robotica avanzata e per la elaborazione dei linguaggi naturali, dichiarandosi scettico sulle possibilità di giungere in tempi prevedibili a solidi metodi risolutivi; in particolare venivano sottolineati i rischi delle esplosioni combinatorie degli algoritmi per la ricerca di soluzioni ottimali.

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 1l 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 l970 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 dalla crescita degli studi sulla complessità computazionale.
Si è iniziato a studiare molti procedimenti del calcolo infinitesimale e della teoria delle funzioni matematiche, non limitandosi a studiare algoritmi che si potessero dimostrare in grado di portare a soluzioni, ma studiando anche l'effettiva fattibilità in tempi ragionevoli delle elaborazioni richieste da applicazioni concrete.

Questi studi consistevano in considerazioni formali, anche piuttosto astratte, e in verifiche sperimentali sui consumi di tempo di calcolo e di spazio di memoria richiesti dalle istanze dei poblemi appartenenti ai diversi livelli di impegno.
con i divele idverse efficienza degli algoritmi e non limitandosi alla sola ricerca di metodi dai risultati degli studi e sulla classificazione degli algoritmi dovuti in particolare a .
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, per merito, tra gli altri, di Cook e Karp, si è giunti a una classificazione dei problemi e degli algoritmi risolutivi attraverso una funzione di costo con un unico argomento n intero positivo tendenzialmente elevato esprimente l'impegno delle istanze trattabili e chiamato parametro dimensionale.
Ad esempio per un problema riguardante polinomi di una variabile come parametro dimensionale n si assume il grado dei polinomi; per un problema riguardante matrici quadrate si assume che n esprima il numero delle righe e delle colonne delle matrici esamminate.
In questa ottica si giunge alla classificazione dei problemi e degli algoritmi mediante gli andamenti asintotici delle funzioni di costo $c(n)$.
Si distinguono in tal modo le funzioni $c(n)$ con andamenti asintotici polinomiali dei vari gradi, e funzioni con andamenti esponenziali e più che esponenziali.
In questo modo si vengono a riconoscere i cosidetti 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 dei dispositivi elettronici e degli strumenti computazionali in conseguenza della previsione di una prolungata crescita della densità dei transistors collocabili nei circuiti integrati espressa dalla legge di Gordon Moore.
Questa legge empirica, risultata convincente negli ambienti della microelettronica intorno al 1965, prevedeva il raddoppio nel giro di 18-24 mesi del numero dei transistors che sarebbe stato possibile collocare in circuiti elettronici; questa crescita avrebbe assicurato un simile tasso di aumento della la potenza computazionale dei dispositivi elettronici che avrebbero potuto essere collocati nei mercati e risultare utili a una quantità di applicazioni concrete.

La legge di Moore si è riscontrata valida per decenni e le apparecchiature che ne hanno tratto vantaggio hanno spinto la crescita di una quantità di attività gestionali, amministrative, industriali e logistiche; hanno avuto anche conseguenze culturali, innanzi tutto negli ambienti scientifici che da tempo si sono basati su metodi quantitativi, ma anche in ambienti che hanno iniziato a servirsi di tali metodi per utilizzare meglio i dati che potevano avere a disposizione.
La crescita indicata dalla legge di Moore e delle moltissime attività indotte si è dimostrata 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.
Occorre segnalare che in quegli anni si è riscontrata una crescita rilevante e continuativa delle capacità di progettazione dei dispositivi microelettronici e nanoelettronici, consentita dagli sviluppi dell'ingegneria del software, cresciuta anche per il contributo delle procedure finalizzate al sostegno dell'intero ciclo i vita del software. Per questa crescita esponenziale, anche superiore di quella di Moore), si parla di legge di Jensen Huang [e[Huang's law]], ma resta discussa la sua possibilità di mantenersi a lungo.

J46 c.02 Il consolidarsi della prolungata forte crescita degli strumenti della ICT ha attratto interessi economici, industriali e scientifici verso i progetti basati sulle tecnologie digitali.

Nei primi anni 1970 di sono imposte le basi dati relazionali;

Intorno al 1980 si è riscontrata la rapida diffusione globale dei PC che, insieme alle prime esperienze di connettività tramite Internet, ha fatto crescere rapidamente la familiarità con le procedure automatiche e l'aspettativa di soluzioni quantitativamente qualificate di problemi precedentemente affrontati alla buona sia nei contesti amministrativi che negli amienti industriali che in molti laboratori tecnico-scientifici.
Intorno al 1990 si sono resi disponibili processori, workstations e mainframes sensibilmente più potenti, dotati anche di prestazioni di calcolo simbolico e parallelo che hanno ulteriormente aumentati il numero degli utenti della elaborazione automatica dei dati e hanno visto il consolidarsi della robotica industriale.
Nel corso degli anni 1990 si è manifestata l'importanza della rete Internet che ha cominciato ad essere utilizzata ampiamente, a iniziare dalla posta elettronica, grazie alla crescita dei collegamenti internazionali e alla infrastruttura di facile utilizzo del World Wide Web.

J46 c.03 Nel primo decennio del terzo millennio si è avuta la prima grande crescita dell'adozione globale dl Web vistosamente facilitata dalla disponibilità degli smart phones 2000, e accompagnata del potenziamento della logistica internazionale e dalla globalizzazione dei mercati.

I procedimenti computazionali e telematici hanno attratto anche molte attività mosse da interessi commerciali, umanistici, sociali e ludici; a questo proposito vanno ricordati: pubblicità e propaganda politica tramite Internet e telefono, ricerche online con Google Search, acquisti online con Amazon, Wikipedia, Progetto Gutemberg, Second Life, Minecraft, Netflix, social media.

Tutte queste innovazioni disponibili in buona parte del nostro pianeta hanno cambiato evidentemente una gran parte delle dinamiche produttive, commerciali e finanziarie e hanno comportato una grande disponibilità di dati che hanno a loro volta consentito nuovi tipi di valutazioni, di decisioni e di produzioni. In particolare sono cresciuti vistosamente le prospettive strategiche e gli investimenti sopra iniziative basate su strumenti e metodi dell'area ICT.

Dagli anni 2010 è cresciuta l'importanza delle piattaforme con le prestazioni della AI. Alcuni ricercatori del settore e alcuni imprenditori lungimiranti, soprattutto statunitensi e cinesi, hanno avviato intense in questa direzione e in buona parte hanno ottenuto grandi finanziamente e hanno conseguito vari risultati di grande impatto e notevoli guadagni finanziari.

In questi anni conseguentemente è cresciuto l'interessamento verso l'AI di investitori, di imprenditori privati e di enti pubblici diventati più disposti a finanziare nuove iniziative fortemente innovative anche se non prive di rischinelsettore.
Questo ha fatto crescere il potere economico e imoprenditoriale delle aziende più rilevanti del settore, in particolare delle Big Tech. Un altro fattore importante emerso in questo periodo 'e stata la crescente attrattiva dell'AI nei confronti di giovani ricercatori, potenziali generatori di nuove iniziative e diventati progressivamente una delle più critiche risorse per il progresso di tante tecnologie innovative.

J46 c.04 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 in circoscritti 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.05 Internet, la rete delle reti, era stata avviata dagli ambienti militari statunitensi e da ricercatori di poche università ed era evidentemente destinata e 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 anno 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 perurante crescita di produttori di hardware e di software specializzati.

J46 c.06 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.07 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 ambizioni 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 linguaggo 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.08 Negli anni 1980 è iniziata una signifficativa 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 eleborate, 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 praticdiffuso 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.09 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 à consolidata la convinzione che le capacità sensomotorie dei sistemsia biologici che artificiali non fossero meno importanti delle capacità di ragionamentotradizionalmente chiamate superiori, giungendo a definire quello che è stato chiamato il paradigmachiamato dell'embodied mind.

J46 c.10 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 inconsce 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.11 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 contribuiti 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 microeelettronica (componenti MOS) e alla conseguente attenuazione delle limitazioni dei motori computazionali e inferenziali.

J46 c.12 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 mel 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.13 Negli anni 1990 aveva cominciato a imporsi il nuovo paradigma degli agenti intelligenti, per merito diJudea 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.14 Negli anni intorno al 2000 si è avuto anche lo sviluppo di metodi matematici più rigorosi e complessi che potessero essere adottarti in sistemi più articolati e ambiziosi dei precedenti; questo è dovuto anche al riconoscimento della opportunità di sviluppare strumenti concettuali appositi 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 evoluzionari.

Questi strumenti concettuali definiti con maggiore precisione, insieme al crescente utilizzo del WWW e dei suoi molti sevizi, 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 le 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.15 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. Principali risultati 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 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 corrispndono 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 lavori sull'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 debitrici 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 gammme di conpiti 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 particolarequelli 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 intravvedere.
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 artificial 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 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 elevata complessità e rilevanti difficoltà realizzative.

I giochi digitali con la struttura più semplice sono praticati da un singolo giocatore che si confronta con un avversario artificiale retto da un computer, da uno smartphone, da un tablet o da una console tascabile o elaborata; va sottolineato che i dispositivi che esprimono i giocatori artificiali sono prodotti industriali di grande peso e costituiscono un settore economico di importanza elevata e in continua crescita chiamato settore del **gaming**.

J46 e.02 Giochi strutturalmente più elaboraticoinvolgono più giocatori ciascuno dei quali si immerge in un ambiente di realtà aumentata o virtuale, il metaverso, servendosi di un apposito visore, di un casco o di un cosiddetto head che gli fornisce l'impressione di trovarsi in un ambiente costruito da oggetti tendenzialmente 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 (cruciali per le sue decisioni); 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, per la quale possono essere determinanti anche le azioni decise dagli altri giocatori, vengono controllate e aggiornate da un sistema digitale che evidentemente deve essere molto articolato e decisamente impegnativo.
Infatti il sistema che ha il ruolo di controllore e regista di un metaverso deve riuscire a gestire tutti i giocatori, che nella realtà potrebbero trovarsi in località diverse e molto distanti; inoltre in taluni giochi deve gestire eventi collaterali non visualizzati per una parte dei giocatori determinati da conseguenze più o meno dirette delle azioni del complesso dei concorrenti.

L'ambiente nel quale si svolge il gioco, ossia l'insieme dalle visualizzazioni presentate ai diversi giocatori, deve essere fatto evolvere in tempo reale in conseguenza delle azioni che i giocatori hanno la sensazione di compiere e di una strategia che il sistema controllore ha impostata.

Sono quindi tante le operazioni che il sistema di controllo deve eseguire per dare ai giocatori l'impressione di influire concretamente sullo scenario che ciascuno di di essi percepisce.

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 provenienti da agenzie mediatiche che operano nal mondo reale.

Inoltre possono essere gestiti acquisti effettivi di prodotti che vengono posti in vendita appositamente tramite il metaverso, transazioni finanziarie riguardanti acquisti e scambi fra i giocatori ed organismi del mondo reale che hanno la possibilità di accedere al metaverso; esempi: servizi di prenotazione in linea, agenzie per la promozione di nuovi prodotti, gestori di scommesse, di vendite all'asta, di prestiti ad usura, organismi di consulenza, chatbots.

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 principesse di bell'aspetto imprigionata;
arredare un'abitazione;
costruire un edificio, un quartier commerciale o una intera città;
esaminare e provare virtualmente un'automobile da poco immmessa nel mercato;
scegliere vestiti e possibilmente comprarli e farseli consegnare nella casa realmente abitata.

J46 e.05 I giochi che prevedono molti giocatori ne gestiscono da una mezza dozzina 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 in modo collaborativo o competitivo e farle interagire con ambienti virtuali che possono essere condivisi da tutti oppure accessibili solo da gruppi autorizzati, ambienti che possono avere componenti mutevoli soggetti a trasformazioni determinate in modi diversi.

In ciascuno di questi casi si deve avere la gestione di un sistema informatico-telematico che controlla e reagisce alle azioni effettuate dai vari giocatori (da 6 a 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 corrisponere 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.06 Segnaliamo ora alcune delle più interessanti iniziative che si muovono nelle direzioni del gaming e 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, Oxford e molte italiane, organismi tutti attratti dalle prospettive di poter erogare propri interventi e servizi attraverso una piattaforma potenzialmente molto 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 s ervizi 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.07 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 2025 hanno raggiunto i 350 milioni, facendo di Minecraft il videogioco più venduto.

J46 e.08 La piattaforma digitale **Roblox**, è diventata operativa nel 2006, all'inizio del 2025 aveva più di 85 milioni di utenti attivi giornalieri, mentre metà dei sedicenni statunitensi erano suoi utenti mensili.

Su Roblox è disponibile il gioco Adopt me! che consente ai partecipanti di far schiudere uova virtuali di animali addomesticati i quali possono poi essere allevati e scambiati.
Nel 2021 il mondo di Adopt Me! è stato visitato più di 20 miliardi di volte, numero che si valuta 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.09 Il settore tecnologico delle iniziative dedicate ai giochi e agli ambienti virtuali comprende progettazione, produzione di dispositivi hardware e software, definizione di modelli visivi e sonori e strategie di sviluppo e ricerca, psicologiche e sociologiche.
Esso ha coinvolto in misura crescente ricerche informatiche e comportamentali tra le più avanzate, compagnie del comparto ICT tra le più potenti, aziende start-up tra le più innovative, investimenti di parecchi miliardi di dollari/euro/remimbi/yen, decine di migliaia di sviluppatori e molte centinaia di milioni di utenti.

J46 e.10 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 si rivolgono alla costruzione di metaversi si devono utilizzare le maggiori tecnologie dell'Intelligenza artificiale, del controllo interattivo su ambienti anche estesi e molto variegati, della visione artificiale, della elaborazione di più linguaggi naturali, della simulazione di azioni motorie, sonore e tattili e di molto altro.
Va anche segnalato che gli scenari virtuali possono avvalersi delle esperienze della robotica avanzata.

Per realizzare metaversi il più possibile attraenti si devono rendere disponibili immagini e prestazioni molto impegnative e notevolmente articolate. Non è facile quindi prevedere se e quando saranno affidabilmente e soddisfacentemente disponibili le piattaforme che sono state promesse in questi ultimi anni.
È anche difficile prevedere qiuali saranno le interazioni e le competizioni tra costruttori di metaverso e sistemi della AI generativa.

J46 e.11 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 rimangono molto promettenti, sono molto variegate, ma risultano tutt'altro che definite.

Sulle sue conseguenze i pareri sono contrastanti, come per quasi tutte le altre previsioni sulle varie tecnologie con possibilità di successo; pareri molto contrastanti anche sulle possibili influenze sull'evolversi dei comportamenti e della 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 sporattutto sulla gestione delle attività pericolose e potenzialmente dannose.

Inoltre si manifesta molta fiducia sulle possibilità del metaverso di consentire scelte negli acquisti di prodotti esaminabili realisticamente che non richiedono di spostarsi dal proprio habitat corrente; si presta poi grande attenzione alle promesse di iniziative innovative rivolte all'intrattenimento e al tempo libero.

I pessimisti temono la diffusione della perdita del senso della realtà e la possibile prevalenza di organismi senza scrupoli che con il controllo di un loro metaverso accresceranno la loro capacità di manipolare credenze diffuse e ingiustificate e di indurre a comportamenti vantaggiosi per loro e dannosi per la società.

J46 e.12 Nonostanti le vistose prospettive che fa intravvedere 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 aziede intendono avviare o hanno iniziato a sviluppare.

J46 e.13 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 molte delle 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 già ben presenti nelle realizzazioni 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 fisicamente 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 che intendono primariamente 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 attentamente studiate.

J46 e.14 Considerati i forti investimenti che sono andati nella direzione del Metaverso, ma anche le delusioni che hanno portato a riflussi con numerosi licenziamenti nel mondo della produzione digitale avanzata, si può solo prevedere che si avranno sviluppi numerosi ma poco prevedibili edè lecito supporre che si avranno forti alleanze, aspri conflitti finanziari e sviluppi tutt'altro che lineari.

J46 f. recenti tendenze

J46 e.01 Improvviso e grande successo di CatGPT 3.5 di openAI dal novembre 2022 ha attratto l'interesse di miliardi di persone.
I modelli LLM sono stati sviluppati da tutti gli altri Big Giants statunitensi, da varie compagnie cinesi e, in tono minore da qualche organismo europeo.
La gran parte delle organizzazioni con attività tecnologiche del mondo intero hanno cominciato a servirsi di servizi di AI generativa.
La consultazione di motori di AI dopo iniziali incertezze dovute alla limitata affidabilità delle risposte e dalla persistente possibilità di allucinazioni e di intermediari malintenzionati è andata crescendo rapidamente.
Oggi viene consultata quotidianamente, soprattutto attravrso smart phones, per ottenere informazioni riguardanti spostamenti, reperimento di fornitori di prodotti e di servizi, consultazione di listini commerciali, dati di borsa, eventi imminenti, conoscenze a supporto della lettura e dell'accesso ai media, dell'enigmistica, aiuto per lo studio e i compiti scolastici, per avere aiuto medico e psicologico, per incontri romantici e tanto altro.
Tutte le attività propagandistiche devono tener conto dei chatbots, oltre che dei social media, in quanto possono amplificare le loro azioni.

J46 e.02 Evidentemente le prestazioni dei chatbots e la loro intermediazione sono fonti di influenza informativa, commerciale, alla lunga culturale, e, in definitiva, alimentatori di potere.

Le compagnie che hanno innovazioni tecnologiche al centro dei loro interessi sono pienamente consapevoli della loro valenza competitiva e della loro importanza per il mantenimento e la crescita delle loro attività.
Questo ha portato ai grandi investimenti nella tecnologia dei chatbot in questi ultimi anni. Gli investimenti maggiori sono stati quelli delle Big Tech, ma si sono avuti anche grandi investimenti indiretti da parte di grandi aziende che si sono alleate alle suddette per ammodernare le loro strategie nei rispettivi campi d'azione e da parte dei mercati azionari.
Le scelte delle compagnie più orientate alle tecnologie seguono strategie più complessive nella convinzione che in questi anni vi saranno grandi cambiamenti nelle attività promossi dalle innovazioni tecnologiche e che il controllo di vari strumenti consentirà loro di crescere vistosamente.
All'opposto queste compagnie i rendono conto che unridotta crescita dei loro assetti tecnologici può portare al loro indebolimento e anche alla loro rovina, come accadrà sicuramente a buona parte degli organismi che non sapranno adattarsi ai nuovi scenari plasmati dalle sopra accennate innovazioni.

J46 e.03 Dopo due o tre anni di crescita dell'uso della AI da parte del grande pubblico nei paesi tecnologicamente attrezzati si è riscontrata una vistosa crescita degli investimenti per le previste prossime fasi di crescita delle piattaforme digitali potenziate dalla AI. Questi investimenti sono destinati a finanziare la crescita, in particolare per garantirsi la disponibilità di potenze di calcolo molto superiori alle attuali.
Questa garanzia si può ottenere con la costruzione di potenti computing farms, che a loro volta richiedono fonti di grandi quantità di energia, nuovi dispositivi di calcolo (dai chip, alle architetture dei sistemi con possibilità di elevato parallelismo), conseguente disponibilità di materiali rari e anche capacità di raffreddamento.

Per le fonti di energia si pensa anche ai combustibili fossili, alle centrali nucleari e a pannelli solari per data centers in collocazione orbitale (SpaceX). Per il raffreddamento dei circuiti è necessaria la vicinanza di un fiume o del mare.
Un altro fattore per la crescita dell'innovazione è costituito dal reclutamento di ricercatori di talento: questo si rivolge soprattutto ai giovani che vengono allettati da salari vistosi.
Questa tendenza si osserva che può condurre a rischi di medio-lungo termine: può depauperare le università e quindi la crescita della educazione delle giovani generazioni e inoltre può danneggiare le iniziative umanitarie, soprattutto quelle di portata internazionale.
A questo proposito va osservato che negli Stati Uniti le università e le iniziative unanitarie con la 47-esima amministrazione si trovano sotto attacco; situazioni simili si trovano anche in paesi con regimi autocratici.

J46 e.04 La forte competizione in queste direzioni ha portato, ineluttabilmente, intasamento delle fonti delle risorse più cruciali e all'inasprimento dei conflitti fra concorrenti.
La crescita dei consumi energetici che si è evidenziata nel 2026 è alimentata in gran parte dalla crescita delle attività di calcolo che sono finalizzate all'intrattenimento.
Queste sono favorite dalle aziende fornitrici, come accade in tutti i campi che riguardano consumi di massa; in particolare vengono spinte dalle strategie delle Big Tech e delle aziende lorocollegate che considerano di interesse primario la crescita degli utenti che si affidano ai loro prodotti e alla agevolazioni immediatamente precepibili che vengono loro erogate, in particolare nella forma di accessi gratuiti.
A questo proposito va osservato che spesso le agevolazioni facilmente percepite fanno abbassare i livelli di responsabilità di molti utenti che tendono a non rendersi conto dei possibili svantaggi comportati dai consumi liberi attraverso Internet: cessione di dati personali, marcata disattenzione verso eventi, tendenze e rischi rilevanti ma al di fuori degli interessi dei fornitori, visioni unilaterali pilotate, tendenza alla passività acritica.

J46 e.05 La corsa da parte delle aziende orientate alla AI all'ampliamento delle prestazioni dei loro strumenti, alla acquisizione di potenza computazionale e al personale più promettente comporta spesso innovazioni affrettate e richiede investimenti massicci che sono rese facili solo da prodotti molto profittevoli e da campagne di finanziamento pubblico di rapido successo.
Molti investimenti per la corsa all'innovazione richiedono prestiti che talora le aziende non riescono a ripagare per i tempi lunghi dei ritorni finanziari dei prodotti e dei servizi innovativi progettati.
Queste situazioni rischiose sono dovute a sottovalutazioni delle difficoltà che può incontrare ogni progetto di ricerca avanzata, errori da azzardo che si sono presentati in molte fasi dello sviluppo delle tecnologie della informazione e della comunicazione.

Dunque non possono meravigliare i periodi di arresto nella evoluzione della AI; a questo proposito si possono ricordare i cosiddetti inverni della AI.

In particolare si sono avuti nel 2026 decisioni di forti riduzioni dei progetti e di personale, da parte di Meta dovute alla sottovalutazione delle difficoltà di far partire il loro metaverso e da parte di altre aziende orientate alla AI.
Da osservare in particolare che varie riduzioni di personale dedicato alla AI sono derivate dalla disponibilità di strumenti AI di frontiera in grado di svolgere compiti umani di buon livello, in particolare sviluppo e collaudo di software.

va anche segnalato che nel 2026 OpenAI ha incontrato difficoltà nella erogazione dei servizi di alcune sue piattaforme come Chat GPT 5.5 e Sora, (il modello LLM del genere text-to-video, estremamente

energivoro) in conseguenza della rapida crescita della domanda delle loro prestazioni.
I consumi di energia dovuti al computing richiesto dai modelli LLM, a partire dal 2024 e in misura crescente, vengono considerati come importanti fattori del riscaldamento climatico e quindi vengono monitorati come pericolose sorgenti di rischi ambientali.

J46 e.06 Nel 2026 è anche iniziata una causa legale intentata da Elon Musk alla OpenAI guidata da Sam Altman, accusato di avere trasformato OpenAI da compagnia no-profit company a for-profit-company, tradendo le motivazioni ideali della sua costituzione; va notato che Musk aveva contribuito con un forte finanziamento alla nascita nel 2016 della no-profit OpenAI.
Questa causa legale suscita grandi discussioni concernenti in particolare la possibilità di crescita di una no-profit company in un settore che richiede enormi finanziamenti. Eessa viene vista come il maggiore scontro fra grandi compagnie tecnologiche e si prevede che in futuro si potranno avere moltri scontri simili.
Questi conflitti vengono collocati da molti osservatori all'interno dei grandi scontri fra i maggiori poteri economico-poliotici globali e dicono che i poteri derivati dalle tecnologie sono sempre più determinanti.

Su tali fenomeni si svolgono accesi dibattiti coinvolgenti temi etici nei quali spesso prevalgono visioni catastrifiste.
In particolare hanno forte presa i discorsi che segnalano che le decisioni dettate da interessi egoistici e non mitigate da responsabiolità confuse dall'intrecciarsi delle forze in gioco, decisioni che rischiano il disfacimento di molte strutture associative che in precedenza si mostravano consolidate e costruttive.

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