



Metamorfosi delle macchine

di Mario Gargantini

Direttore di Emmeciquadro

“E adesso arriva la seconda età delle macchine. I computer e le altre innovazioni digitali stanno facendo per la nostra forza mentale, per la capacità di usare il nostro cervello affinché capisca e influenzi il nostro ambiente, quello che la macchina a vapore e i suoi epigoni fecero per la forza muscolare”. Così due anni fa Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee, ricercatori del MIT di Boston, salutavano la diffusione delle tecnologie digitali¹ per poi analizzarne le implicazioni, gli impatti e le conseguenze non solo sul nostro modo di lavorare ma anche sul modo di pensare e di vivere il rapporto con la realtà. È solo un inizio di analisi perché, come aggiungono gli stessi studiosi, le nuove macchine “ci permettono di superare i precedenti limiti e ci portano in un territorio inesplorato”, un territorio del quale è difficile delineare tutti i contorni e dove non è facile prevedere il panorama che ci si presenterà alla prossima curva.

Quando si è di fronte a una situazione nuova e tuttora in rapida evoluzione, è ancor più utile riesaminare il cammino percorso e mettere a fuoco i concetti, le idee guida, i paradigmi che sono stati oggetto delle principali trasformazioni. Uno di questi è il concetto di “macchina” che ha rivestito un ruolo centrale nelle prime cosiddette rivoluzioni industriali e che ora, al tempo dell’Industria 4.0, sta subendo un’ulteriore mutazione e sta assumendo nuove valenze e nuovi significati; soprattutto sta cambiando il rapporto uomo-macchina e si stanno ampliando enormemente le attività e gli aspetti della vita quotidiana che sono gestiti e dominati da macchine.

Sono tante le definizioni di “macchina” e Vittorio Marchis ha raccolto le più significative distribuendole lungo le diverse fasi della storia dell’*homo faber*.²

Risulta quindi che il mondo antico ha conosciuto le macchine soprattutto come “moltiplicatori di forza” e a questa visione si adatta bene la definizione che si trova nell’*Encyclopédie* di Diderot e d’Alembert (1751-1777) dove la macchina è descritta

1 E. Brynjolfsson e A. McAfee *La nuova rivoluzione delle macchine*, Feltrinelli, Milano 2015.

2 V. Marchis, *Storia della tecnologia*, in *Enciclopedia delle scienze sociali*, Treccani, Milano 1996.

come un dispositivo “che serve ad aumentare e a regolare le forze attive (forces mouvantes)”. Gli autori dell’*Encyclopédie* vivono in un’epoca di grande innovazione e diffusione delle macchine: cinquant’anni prima Thomas Savery e poi Thomas Newcomen avevano costruito i primi modelli di macchina a vapore, alla quale James Watt stava apportando una serie di miglioramenti che avrebbero condotto al prototipo delle macchine moderne; per tutto il secolo il telaio, macchina emblematica dell’innovazione meccanica applicata alla produzione, accumula un susseguirsi di perfezionamenti che sfoceranno nel telaio Jacquard a schede perforate (1805); anche in agricoltura, il settore produttivo più tradizionale, entra il vento della tecnologia con l’introduzione di macchine che automatizzano alcune operazioni tipiche come la semina o la sgranatura del cotone. A d’Alembert, estensore della voce *machine*, non sfugge quindi il fatto che il bello della macchina non sta tanto nel dispiegamento di forze quanto piuttosto in tanti piccoli accorgimenti, in tante intuizioni spesso sottili e poco appariscenti, in tanti miglioramenti incrementali. Il nocciolo della macchina sono quegli elementi innovativi che la caratterizzano, frutto di genialità, immaginazione creativa, abilità costruttiva; insomma tutto quello che rientra nella parola latina *ingenium*, da cui derivano *engine*, macchina, e ingegnere. Perciò, subito dopo la definizione prima riportata, d’Alembert si premura di aggiungere: “Una macchina consiste ancora più nell’arte e nell’invenzione che nella forza e nella solidità dei materiali”. È una osservazione di grande attualità, in un momento in cui il termine macchina, come vedremo, si applica a sistemi dove è difficile individuare forze e movimenti e dove ciò che viene trattato, trasformato e prodotto spesso è qualcosa di immateriale.

Un passaggio chiave nell’evoluzione del concetto di macchina era stato, prima ancora della rivoluzione industriale, quello impresso nel titolo di un celebre saggio di Alexandre Koyrè – *Dal mondo del pressappoco all’universo della precisione*³ – e che descrive l’entrata in scena di strumenti frutto non più solo della abilità artigianale ma della creatività scientifica, di quel nuovo approccio alla conoscenza dei fenomeni naturali basato sul metodo sperimentale e sul linguaggio matematico. Emblematica di questa sinergia tra scienza e tecnica è l’orologio che, dopo i primi orologi meccanici nel tardo Medioevo, registra grandi contributi innovativi a opera di due scienziati come Galileo e Huygens; per poi trovare nei tecnici orologiai del Settecento gli artefici della miniaturizzazione e del raggiungimento di una precisione tale da permettere al semplice orologiaio John Harrison di vincere il premio bandito dal Parlamento inglese per la misura esatta della longitudine. Lo storico della tecnologia Lewis Mumford è arrivato ad affermare che è “l’orologio e non la macchina a vapore lo strumento basilare della moderna era industriale”.

L’industrializzazione vede la macchina utensile come protagonista assoluta. Gli utensili diventano macchine e il grosso delle lavorazioni viene eseguito tramite esse, azionate dalle diverse forme di energia via via disponibili. L’operatore si specializza e la qualifica professionale si definisce più in base alla macchina impiegata

³ A. Koyrè, *Dal mondo del pressappoco all’universo della precisione*, Einaudi, Torino 1982.

che non all'oggetto costruito: abbiamo così il tornitore, il fresatore, il saldatore; all'operatore si affiancano il progettista e l'ingegnere, come pure le altre funzioni connesse all'esercizio di una macchina come il manutentore. Ecco quindi le definizioni di macchina di metà Ottocento, come quella di M.C. Laboulaye (*Dictionnaire des arts et manufactures*, 1853): "Si dà il nome di macchina a tutti i sistemi destinati a trasmettere il lavoro delle forze e di conseguenza atti a modificarne l'intensità e il moto, sia in relazione alla velocità sia alla direzione, in ragione dello scopo da ottenere. Sono soprattutto le variazioni del cammino percorso dagli organi in movimento che rendono le macchine adatte a un'infinità di impieghi industriali"; o quella di Karl Marx: "Ogni macchinario sviluppato consiste di tre parti sostanzialmente differenti, macchina motrice, meccanismo di trasmissione e infine macchina utensile o macchina operatrice".⁴

L'Ottocento è il secolo dell'elettricità: soprattutto nella sua seconda metà, le fabbriche ma anche le città e le case si riempiono di nuove macchine, più silenziose e più versatili, dove non prevalgono i meccanismi e dove la funzione primaria non è la produzione di lavoro ma la trasformazione dei segnali. Sono i segnali elettromagnetici ad attivare i movimenti, a regolarli e controllarli; e sono quei segnali a veicolare, anche a distanza, la materia prima sulla quale opereranno le nuove macchine del XXI secolo: l'informazione.

Nella seconda metà del Novecento entra in scena una macchina completamente diversa da tutte le precedenti, il computer, che in breve tende a occupare tutta la scena e a trasformare l'idea stessa di macchina.

Fino ad allora una macchina, che fosse all'interno di una catena di montaggio di una grande fabbrica o nell'officina di un artigiano, era un meccanismo o un insieme di componenti e circuiti concatenati e ben strutturati, finalizzati a svolgere una procedura ben precisa; potevano esserci degli automatismi, dei sistemi di controllo elettromeccanici ma in ogni caso erano orientati allo svolgimento della procedura prestabilita, servivano a ottimizzare quel determinato funzionamento. Col computer abbiamo una macchina la cui attività viene programmata e il programma può essere continuamente modificato, aggiornato; il funzionamento non è più finalizzato a un solo risultato ma abbiamo sistemi multiscopo: il computer che avete davanti vi permette di leggere questo articolo ma anche di ascoltare musica, di comporre un disegno e di stamparlo, di gestire una comunicazione video-telefonica, di far muovere un robot e tanto altro ancora.

Quello che la macchina-computer fa non dipende solo da come è strutturata ma soprattutto dal programma che la governa. Alla parte materiale, elettromeccanica, elettronica – complessivamente indicata come hardware – si aggiunge una parte logico-linguistica – il software – e questa viene ad assumere un ruolo determinante. La macchina moderna è sempre più un mix inscindibile di hardware e software

⁴ K. Marx, *Il Capitale*, libro I, sez. IV, cap. 13.1.

e ciò cambia la fisionomia dei luoghi di lavoro, il modo di lavorare e le qualità richieste al lavoratore. La produzione è sempre più automatizzata grazie ai nuovi sistemi di automazione e controllo: si inizia a fine anni Sessanta con l'introduzione dei controllori logico programmabili (PLC, *Programmable Logic Controller*) e via via si arriva a organizzare ogni azienda come una rete di elaboratori distribuiti in tutti i punti e a tutti i livelli della struttura aziendale. Le gloriose macchine utensili che hanno segnato la poderosa crescita dell'industria manifatturiera diventano macchine a controllo numerico (CNC, *Computer Numerical Control*) e poi si integrano nei Centri di lavoro e nelle Celle flessibili, dove possono essere organizzate, eseguite e controllate diverse lavorazioni: nella stessa cella si possono svolgere operazioni di tornitura, alesatura, foratura, taglio e così via.

Nel frattempo un'altra macchina *sui generis* fa la sua comparsa, insediandosi dapprima nell'industria per poi diffondersi ovunque: il robot. Secondo la normativa internazionale ISO, il robot è definito come "un manipolatore con più gradi di libertà, governato automaticamente, riprogrammabile, multiscopo, che può essere fisso sul posto o mobile"; macchine del genere riempiono ormai le fabbriche svolgendo operazioni di movimentazione, verniciatura, trattamento delle superfici, saldatura, taglio, ispezione, trasporto, assemblaggio.

Il robot è una macchina che fin dall'inizio, forse anche per le sue anticipazioni letterarie e fantascientifiche, va oltre il concetto di "strumento" per porsi in qualche misura in concorrenza con l'operatore umano del quale emula le capacità e in qualche caso le supera (si pensi ai robot che operano in condizioni estreme): i due tratti distintivi della macchina-robot sono infatti una certa autonomia e la possibilità di interagire con l'ambiente, due caratteristiche tipicamente umane.

Per avere un'idea più adeguata di cosa significhi "macchina" oggi dobbiamo considerare altri due fattori caratterizzanti lo scenario tecnologico attuale: la digitalizzazione e le reti di comunicazione.

La prima – cioè la rappresentazione di ogni informazione (testo, immagine, audio, video) in bit, in segnali digitali – è la condizione per far diventare il computer una "macchina universale", in grado quindi di elaborare ogni tipo di segnale e di utilizzare tali segnali per attivare e gestire le macchine tradizionali come pure per animare le nuove macchine che nascono già digitali. A causa della digitalizzazione, quando pensiamo a una macchina oggi non dobbiamo riferirci solo all'apparecchiatura, alla "carrozzeria" ma anche ai programmi che vi sono incorporati e al tipo di dati che può ricevere e trasmettere: un tornio non è più solo un motore che fa girare un asse sul quale c'è un carrello mobile con un mandrino che porta una punta metallica; è tutto questo, ma unitamente al software che lo comanda e ai dati che indicano la sua performance e il suo stato di salute.

Tutte le macchine tendono a diventare "intelligenti", "smart machine", e assume

un ruolo centrale l'interfaccia (HMI, *Human Machine Interface*), cioè l'elemento di comunicazione con l'operatore. L'uomo non opera più agendo direttamente o indirettamente su manovelle, leve, ingranaggi, valvole: tutte le macchine, anche le più semplici, hanno un display attraverso il quale avviene il dialogo uomo-macchina sia nella fase di avviamento, che in quella di funzionamento ordinario, che per le operazioni di manutenzione. Gli interventi manuali, fisici, si riducono al minimo: avvengono sulla punta delle dita che toccano le icone sul touch screen e così gestiscono il software; in qualche caso non servono più nemmeno le dita e si opera con i comandi vocali.

Il secondo fattore, la disponibilità di reti di comunicazione digitale distribuite e veloci, fa sì che le smart machine non agiscano isolatamente ma siano interconnesse e possano scambiare dati in tempo reale con la rete e tra di loro e utilizzare tali dati per ottimizzare le proprie prestazioni. È la prospettiva dell'Internet delle Cose (IoT, Internet of Things), che si sta concretizzando giorno dopo giorno: ogni macchina ha il suo indirizzo Internet e si inserisce nella grande rete come qualunque altro utente, può autonomamente inviare messaggi, fornire dati circa la propria attività e ricevere informazioni utili al proprio funzionamento. Stime recenti di Gartner Group parlano di oltre 20 miliardi di oggetti connessi in rete entro il 2020.

Digitalizzazione e connettività hanno l'ulteriore conseguenza di tendere a uniformare il panorama tecnologico: le macchine intelligenti, autonome e connesse in rete non sono solo nell'industria ma diventano una presenza quotidiana e capillare, in ogni ambito di lavoro e di vita: dal frigorifero che dialoga col supermercato, alla self driving car, agli abiti con incorporati dei sensori che rilevano il nostro livello di salute e ci avvisano via e-mail...

L'ultimo passaggio di questa metamorfosi delle macchine è frutto della nuova promettente stagione dell'Intelligenza Artificiale e vede le macchine inoltrarsi nella sfera dei processi cognitivi. Fin dall'inizio le macchine dell'era informatica si sono caratterizzate per il fatto di operare non sulla materia ma sull'informazione, non sugli atomi ma sui bit. La materia prima sulla quale opera la macchina-computer sono i dati e il risultato dell'operazione non sono oggetti ma sono altri dati che rappresentano una particolare elaborazione dei dati di partenza, eseguita secondo un programma che può essere ripetuto inalterato un numero illimitato di volte dando sempre lo stesso risultato in uscita. Adesso però si inizia a parlare di "macchine che imparano": si stanno sviluppando sistemi di Machine Learning dove la macchina parte dall'osservazione di esempi concreti, un po' come in quello che possiamo chiamare il sapere pratico; poi però applica sofisticati algoritmi che consentono di estendere la conoscenza ricavata dagli esempi e di generalizzarla per trovare precise correlazioni tra i dati e rispondere a specifiche domande. I dati non sono più solo fonte di informazioni ma diventano in qualche modo sorgenti di conoscenza che viene utilizzata per fare predizioni e risolvere problemi.

Una particolare classe di algoritmi di Machine Learning, nota come Deep Learning, viene impiegata per realizzare macchine che presentano la caratteristica di imparare dall'esperienza, di adattarsi e di evolvere, di modificare via via la propria configurazione. Diventa in tal modo possibile affrontare problemi complessi, per i quali non c'è una procedura prestabilita programmabile e dove si tratta di elaborare una strategia risolutiva ad hoc. Tipico è il caso dei giochi, nei quali queste macchine sembrano imbattibili, ma applicazioni importanti riguardano anche gli ambiti del riconoscimento del parlato o dei sistemi di visione e del riconoscimento delle immagini o ancora quello della ricerca farmacologica o dei modelli climatici e delle previsioni meteo. Siamo quindi in presenza di macchine che imparano ad auto-modificarsi, migliorando le proprie capacità e sviluppando funzionalità per le quali non sono state esplicitamente programmate; macchine che in qualche modo si auto-programmano, spingendo molto avanti il loro livello di autonomia.

Si spinge però molto avanti anche il livello e il tenore degli interrogativi che inevitabilmente questi sviluppi sollevano; interrogativi che iniziano problematizzando la macchina, i suoi impatti, la sua diffusione totalizzante ma che finiscono col riproporre le domande sull'uomo. Alcune azioni che oggi possiamo attribuire alle macchine sono tipiche del soggetto umano: imparare, fare esperienza, riconoscere, decidere, progettare...

Si profila allora una situazione piuttosto paradossale: mentre conosciamo molto bene come sono fatte e come funzionano le macchine intelligenti, quelle che sanno compiere tali azioni, ci accorgiamo di sapere molto poco di come è fatto e come funziona il soggetto che più o meno direttamente viene preso a modello per progettarle: l'uomo.