



CAMERA DI COMMERCIO, INDUSTRIA,
ARTIGIANATO, TURISMO
E AGRICOLTURA DI BOLZANO

AL SERVIZIO DELL'ECONOMIA



COMPRENDERE E SFRUTTARE L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Introduzione
all'applicazione
dell'Intelligenza Artificiale

COMPRENDERE E SFRUTTARE L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Introduzione all'applicazione dell'Intelligenza Artificiale

Editore

Camera di commercio di Bolzano
PID - Impresa digitale
Via Alto Adige 60
I - 39100 Bolzano
Tel. +39 0471 945 691
digital@camcom.bz.it
www.camcom.bz.it

Autori

Prof. Gerhard Friedrich
Prof. Erich Teppan

Grafica

Studio Creation Snc

Prima edizione, giugno 2022

© 2022 Camera di commercio, industria,
artigianato, turismo e agricoltura di Bolzano

La presente linea guida è rivolta senza distinzione a imprenditrici e imprenditori.
Ai fini di una maggiore scorrevolezza si è tuttavia rinunciato a utilizzare sempre entrambe le forme.

Riproduzione e diffusione, anche parziale, è autorizzata soltanto con la citazione della fonte.

Fonte: „G. Friedrich & E. Teppan. Comprendere e sfruttare l'Intelligenza Artificiale.
Camera di commercio, industria, artigianato, turismo e agricoltura di Bolzano. 2022.”

INDICE

1	Intelligenza Artificiale: capire i principi base, cogliere le opportunità, avere successo	4
2	Cosa si intende esattamente per IA?	8
2.1	Obiettivi e inquadramento storico	9
2.2	Gli strumenti dell'Intelligenza Artificiale	11
3	Modellizzare e risolvere	12
4	Apprendimento automatico	16
4.1	Apprendimento automatico supervisionato	17
4.1.1	Classificazione	17
4.1.2	Regressione	19
4.1.3	L'analisi di serie storiche	20
4.1.4	Deep Learning e reti neurali	21
4.2	Apprendimento automatico non supervisionato	23
4.2.1	L'analisi di gruppi	23
4.2.2	Data Mining	24
5	Come riconoscere un potenziale progetto di IA di successo e applicarlo nella propria azienda	26
5.1	Come riconoscere un progetto di IA promettente?	27
5.2	Ambiti di applicazione in azienda	28
5.2.1	Approvvigionamento e logistica	29
5.2.2	Produzione	30
5.2.3	Marketing	31
5.2.4	Gestione del personale e/o dei clienti	32
5.3	Sfide tecnologiche	33
6	Applicazione di metodologie di Intelligenza Artificiale sulla base di modellizzazione e risoluzione	36
6.1	Requisiti per l'applicazione	37
6.2	Vantaggi	38
6.3	Svantaggi	38
6.4	Limitazioni dei rischi	38
6.5	Fattori che fanno aumentare o diminuire i costi	39
6.6	Compiti dell'impresa per la preparazione dell'analisi tecnica	40
7	Applicazione di metodologie di Intelligenza Artificiale basate sull'apprendimento automatico	41
7.1	Requisiti per l'applicazione	42
7.2	Vantaggi	43
7.3	Svantaggi	44
7.4	Limitazioni dei rischi	44
7.5	Fattori che fanno aumentare o diminuire i costi	45
7.6	Compiti dell'impresa per la preparazione dell'analisi tecnica	46
8	Compiti gestionali per introdurre con successo i metodi IA	47
8.1	Prerequisiti organizzativi	48
8.2	Passi ulteriori	48
9	Riassunto	50

1

**Intelligenza Artificiale:
capire i principi base,
cogliere le opportunità,
avere successo**

Molti imprenditori, scienziati e politici di tutto il mondo concordano sul fatto che l'Intelligenza Artificiale (IA) cambierà profondamente il nostro mondo. Economie e imprese investono somme ingenti per migliorare la loro competitività. Si stima che la Cina investirà ben 150 miliardi di euro nell'IA. La Germania intende sostenerla con finanziamenti pari a tre miliardi di euro e la Baviera promuoverà con circa 600 milioni di euro un programma di IA e SuperTech¹. La *Association for Computing Machinery*² riporta spesso notizie di successi nell'applicazione e nello sviluppo dell'IA.

L'Intelligenza Artificiale viene utilizzata per migliorare la produttività, la qualità e le tempistiche di processi già esistenti e per aumentarne la flessibilità. Con l'IA è possibile ridurre i costi e accelerare i processi dell'80% e oltre. A parte essere utilizzata per ottenere significativi miglioramenti nei processi esistenti, l'IA permette anche di offrire nuovi prodotti e servizi, ideando processi e risultati innovativi. Ecco alcuni esempi:

- riconoscimento automatico di oggetti con una qualità finora impensabile, ad es. per individuare errori di produzione;
- manutenzione preventiva di prodotti o macchinari sulla base di ampie banche dati per offrire nuovi servizi ai clienti;
- raccomandazioni specifiche di prodotti e servizi per i clienti, rivoluzionate dall'online marketing e dalla pubblicità personalizzata;
- pianificazione automatizzata di prodotti e processi di produzione per aumentare in modo significativo la qualità e la produttività;
- gestione più flessibile del design di prodotto e della produzione per realizzare *Mass Customization* (ovvero realizzazione su misura al costo della produzione in serie).

L'elenco potrebbe proseguire all'infinito. Per la maggior parte delle imprese la domanda non è più se utilizzare l'IA, ma dove e quando applicarla per restare competitive. I numerosi esempi di progetti di IA realizzati dimostrano che l'IA è applicabile nei più svariati settori di un'impresa. Ma in quali ambiti aziendali conviene sfruttare e rafforzare l'IA?

Di fronte alla grande varietà di possibili applicazioni occorre individuare in modo efficiente ed efficace i progetti più utili. Per poter identificare le applicazioni di IA più proficue occorre innanzitutto rispondere a due quesiti fondamentali:

Quali compiti importanti per l'impresa si prestano a essere risolti sulla base della tecnologia di IA attualmente disponibile?

Quanto è complessa (ovvero costosa e rischiosa) la soluzione mediante IA di tali compiti?

La risposta a queste domande fornisce una classificazione di massima delle possibili azioni e, con una stima corretta del rapporto costi-benefici e una stesura del calendario per la realizzazione, indica dove converrebbe investire.

¹ <https://www.bayern.de/hightech-agenda-bayern>

² <https://technews.acm.org>. La *Association for Computing Machinery* è la più importante associazione internazionale di informatica.

Di fronte alla ricerca di una risposta efficiente e di qualità a queste domande e alla scelta giusta dei progetti sull'IA da attuare, per molte imprese si pone tuttavia un problema di competenze:

- da un lato, gli esperti in azienda che conoscono nel dettaglio le procedure dell'impresa, ma che non dispongono di conoscenze sull'IA, non sono in grado di stimare le potenzialità da essa offerte. Spesso si formulano giudizi errati, che spaziano da una fiducia eccessiva nell'IA come strumento universale in grado di risolvere tutti i problemi, a un rifiuto di fondo della stessa;
- dall'altro lato, gli esperti di IA conoscono a livello generale i suoi vari campi di applicazione, ma in verità il successo o il fallimento delle applicazioni dipende molto dalle procedure concrete in azienda e dal contesto aziendale. Occorre una profonda conoscenza dell'impresa, dei suoi clienti e del mercato per poter creare prodotti e servizi innovativi e capaci di affermarsi. Proprio questi nuovi prodotti e servizi serbano molte opportunità per le imprese.

Quindi, per poter sfruttare al meglio le potenzialità che l'IA riserva a un'impresa, sono necessarie persone che dispongano di una profonda conoscenza sia dell'impresa che delle basi dell'IA, in modo da poter riconoscere i migliori ambiti di applicazione dell'IA in azienda. Lo scopo della presente guida è permettere alle persone che ricoprono varie posizioni all'interno dell'azienda di intraprendere i primi passi verso una stima di massima delle possibili applicazioni dell'IA nella loro impresa. Come realizzare questo obiettivo?

Un approccio molto diffuso per avvicinare gli esperti aziendali alle possibilità dell'IA consiste nell'illustrare storie di successo. Questo approccio fornisce già suggerimenti su come risolvere concretamente un compito grazie all'IA. Può essere sicuramente un'ispirazione per riuscire ad identificare potenziali progetti di IA nel proprio ambiente di lavoro, ma l'IA ne esce un po' come una scatola nera con evidenti limitazioni e insidie:

- L'Intelligenza Artificiale viene applicata in numerosi campi. La gamma di utilizzo è molto ampia e spazia dal commercio alla lavorazione di metalli e legno, ai trasporti e alla produzione di alimenti, solo per citarne alcuni. Ma anche all'interno di uno stesso settore esistono applicazioni molto specifiche lungo tutta la filiera. In ogni settore troviamo applicazioni in vari comparti come l'approvvigionamento, la logistica, la produzione, la distribuzione, il marketing e la gestione del personale. La presentazione di casi concreti offre, invece, un quadro molto sommario delle potenzialità dell'IA. Inoltre, bisogna anche considerare che le imprese di uno stesso settore possono essere molto diverse fra loro. Ne consegue che i casi concreti di applicazione dell'IA possono essere un punto di partenza per identificare applicazioni promettenti, ma poi per trasferire gli esempi citati alle esigenze della propria azienda occorrono precise competenze. Le imprese devono quindi disporre di una conoscenza di base dell'IA.
- Solitamente, le storie di successo riportano solo in modo molto sommario l'applicazione di IA, esaltandone i pregi. Invece, in genere non si parla (o se ne parla molto poco) delle criticità riscontrate nell'applicazione delle metodologie di IA e delle sfide da superare, oppure dei requisiti necessari per riuscirci. Questo comporta che i profani di IA valutino in modo poco realistico le potenzialità di tali tecnologie o che vengano disconosciuti i presupposti necessari per il loro impiego. Se, per esempio, Google riesce con l'IA a battere il campione mondiale di "GO"³, ciò è dovuto soprattutto all'enorme capacità di calcolo di Google. La domanda che si pone è quindi quali metodologie applicare realisticamente in una precisa impresa che dispone di risorse limitate. Solo quando si conosceranno i punti di forza e le criticità degli approcci di IA si potrà effettuare una stima realistica delle potenzialità e identificare così le punte di diamante di una specifica impresa.

³ "GO" è un gioco da tavola per due giocatori, noto per essere uno dei giochi di strategia più complessi.

Senza la conoscenza dei metodi, i casi riportati come esempio per determinate applicazioni non permettono alcuna generalizzazione; questa è però necessaria per riconoscere le potenzialità dell'IA in altri ambiti di applicazione. Analizzando casi concreti si getta in verità uno sguardo al passato. Senza conoscenze sull'Intelligenza Artificiale, basandosi solo sugli esempi di altri casi, si potrà al massimo realizzare qualcosa di simile a ciò che altre imprese applicano già da tempo con successo. Le conoscenze di tecnologie di IA permettono, invece, di lanciare uno sguardo al futuro. Solamente quando si disporrà di queste conoscenze si potranno individuare le opportunità specifiche dell'impresa: solo allora si potranno offrire nuovi prodotti e servizi sulla base dell'IA di cui la concorrenza ancora non dispone.

Per istruire gli addetti nelle imprese a riconoscere i progetti di IA più importanti occorre innanzitutto una comprensione di massima delle principali metodologie di IA. Pertanto, dobbiamo farne anche accenno in una guida pratica. Riferendoci a una famosa citazione di Einstein, il nostro intento è quello di spiegare le principali metodologie di IA nel modo più semplice possibile, ma senza semplificare. Per chi legge dovrebbe essere sufficiente una conoscenza matematica al livello della scuola superiore. Di conseguenza, la presente guida è rivolta in particolare a quelle persone che intendono individuare i progetti di IA rilevanti per la propria impresa e che possiedono la necessaria curiosità per guardare anche dietro le quinte di tali metodologie. Ciò affinerà in modo permanente lo sguardo rivolto all'IA, in modo da poter definire con precisione i passi preliminari per entrare in questo mondo. Questo permetterà di vincolare i necessari investimenti per utilizzare le risorse in modo mirato.

Nel capitolo 2 inizieremo con gli obiettivi e una descrizione dello stato attuale dell'IA, per poi procedere con una catalogazione degli strumenti. Ne emergerà che le metodologie di IA possono essere suddivise fondamentalmente solo in due gruppi. Questo ci aiuterà a strutturare la tecnologia in modo chiaro e semplice e a „demistificarla“. L'IA può essere intesa come una raccolta di strumenti software che, come tutti gli strumenti, hanno punti di forza, criticità e presupposti necessari alla loro applicazione.

Chi capisce come funzionano sostanzialmente queste metodologie ha già fatto il primo importante passo per individuare i progetti di IA attuabili in azienda. Cercheremo di illustrare in modo possibilmente semplice tali metodologie nei capitoli 3 e 4 con alcuni esempi pratici.

Grazie all'introduzione di queste due principali metodologie creeremo i presupposti per passare al capitolo 5, che verterà sull'individuazione e sull'attuazione di progetti importanti. I progetti di Intelligenza Artificiale producono un'elevata utilità aziendale, mentre le sfide tecnologiche si possono affrontare con spese abbastanza contenute. I vantaggi per l'azienda e le sfide tecniche sono pertanto i criteri centrali per individuare i progetti di Intelligenza Artificiale adatti all'azienda.

Per poter valutare l'utilità per l'azienda, nel capitolo 5.2 illustreremo alcuni ambiti aziendali in cui l'IA viene tipicamente applicata, in modo da facilitare l'ispirazione e la creatività in relazione alle possibili applicazioni. L'introduzione nelle metodologie di IA permetterà quindi di capire su quali basi siano state realizzate tali applicazioni e quali fossero i presupposti necessari.

Nel capitolo 5.3 suggeriremo i criteri principali per valutare la sfida tecnica. Su questi criteri si baseranno anche le nostre check-list dettagliate e le linee guida per l'applicazione dell'IA.

Le check-list e le linee guida per l'attuazione delle due principali metodologie di IA saranno approfondite nei capitoli 6 e 7. Grazie all'illustrazione preliminare delle basi di tali metodologie si potranno riconoscere ora anche le criticità e i punti di forza di tali approcci. Inoltre, diverrà anche chiaro quali misure si possano attuare per ridurre i rischi e i costi e quali preparativi attuare in modo da garantire il successo dell'IA.

La guida si concluderà quindi con una descrizione delle condizioni organizzative di base e degli ulteriori passi da fare per attuare i progetti di Intelligenza Artificiale.

2

Cosa si intende esattamente per IA?

Questo capitolo vi fornirà:

- la definizione del termine
- una sintesi delle principali metodologie di IA attuali

2.1 Obiettivi e inquadramento storico

Prima di tutto: non esiste una chiara definizione di cosa sia l'Intelligenza Artificiale (IA). Ciò dipende anche dal fatto che già il termine *Intelligenza* non sia chiaramente definibile. Tuttavia, esiste un'accezione generale del termine che nel corso del tempo è mutata e si è estesa.

Il desiderio di costruire macchine intelligenti è ampiamente documentato già prima dell'era dei computer. Un esempio ne è il Turco risalente al Settecento (si veda figura 1). Il Turco era una macchina che avrebbe dovuto essere in grado di giocare a scacchi, creando l'illusione di essere un robot. In realtà veniva manovrato al suo interno da un essere umano di bassa statura che attraverso leve e altri meccanismi faceva muovere il Turco. Ovviamente non si trattava di un'IA, termine che allora non esisteva neanche.

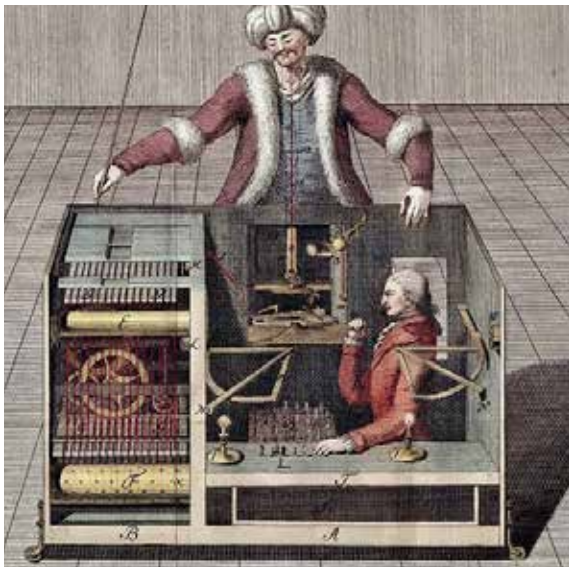


Figura 1: Il Turco, immagine tratta da <https://de.wikipedia.org/wiki/Schachtürke>

Il termine Intelligenza Artificiale (in inglese *artificial intelligence (AI)*) si affermò verso la metà del secolo scorso tra gli scienziati informatici, e risale ai pionieri dell'informatica John McCarthy, Marvin Minsky, Nathan Rochester e Claude Shannon. All'epoca c'era molto fermento in questo settore scientifico relativamente nuovo; molte cose parevano ormai a portata di mano. L'obiettivo era costruire computer e algoritmi che pensassero come l'uomo o che addirittura lo superassero. Tale meta veniva associata al termine di IA forte, ovv. la tecnologia doveva copiare e anche superare le abilità cognitive dell'uomo. L'IA forte viene spesso paragonata all'IA generale. Un esempio classico di Intelligenza Artificiale forte (o generale) è un qualsiasi androide umano o robot di fantascienza.

Si capì ben presto che l'IA forte è difficilmente realizzabile. Quindi, nella scienza ci si concentrò soprattutto a risolvere in modo automatizzato problemi che normalmente richiederebbero abilità cognitive umane o animali. Questo obiettivo di simulare un comportamento intelligente per la risoluzione di problemi specifici è definito Intelligenza Artificiale debole.

Nell'opera fondamentale *Artificial Intelligence: A Modern Approach (Fourth Edition, 2021)* gli autori Stuart J. Russell e Peter Norvig distinguono ulteriormente tra possibili obiettivi dell'IA:

- ragionamento umano (paragonabile all'IA forte)
- azioni umane e risoluzione di problemi
- pensiero razionale
- agire razionale o risoluzione di problemi (paragonabile all'IA debole)

A partire dal concetto di pensiero umano, evidentemente paragonabile all'IA forte, ci si chiede come pensi un essere umano. A tutt'oggi la scienza non è ancora riuscita a chiarire del tutto questo concetto. Non è infatti ancora per niente chiaro cosa sia *umano* e come misurare in generale il processo del pensiero. Contrariamente al pensiero, l'agire di un agente intelligente e la soluzione prodotta possono essere misurati e valutati. Dato che il termine *umano* non si presta, a causa della sua mancata definizione, a criterio di valutazione generale per l'agire e la soluzione di problemi, ci si chiede che cosa possa fungere da obiettivo supremo di un sistema con Intelligenza Artificiale. Invece, un concetto definito chiaramente da varie teorie

matematiche è quello della *razionalità* che ritroviamo anche nella teoria della probabilità, della decisione o dei giochi. Detto in parole povere è razionale produrre soluzioni corrette. È razionale produrre soluzioni o decisioni ottimali secondo un criterio di ottimizzazione, ed è razionale massimizzare la probabilità di un guadagno o di un successo o minimizzare la probabilità di errori.

Gli odierni sistemi di intelligenza artificiale sono da classificare come Intelligenza Artificiale debole. Resta ovviamente la visione di un'Intelligenza Artificiale forte. Tuttavia, al momento non è chiaro se e quando sarà realizzabile.

2.2 Gli strumenti dell'Intelligenza Artificiale

Fondamentalmente, nell'IA (debole) si distinguono due correnti (si veda la figura 2)⁴:

- **l'IA classica / Modellizzare e risolvere** (detta a volte anche *IA simbolica*) che indica la soluzione di problemi sulla base di modelli, regole o altre specifiche;
- **l'apprendimento automatico** (a volte anche *IA subsimbolica*) che mira alla soluzione di problemi sulla base di set di dati raccolti.

La suddivisione frequente in IA simbolica e IA subsimbolica è riconducibile ai metodi utilizzati. Nell'IA classica si usano solitamente simboli tratti dal mondo umano. Nell'apprendimento automatico si applicano attualmente metodi che codificano collegamenti in migliaia di parametri (numerici) e che, nella maggior parte dei casi, non ammettono un'interpretazione comprensibile per l'essere umano. Per completezza va detto che sono stati sviluppati anche metodi di apprendimento automatico che utilizzano simboli interpretabili dall'uomo. Nei prossimi due capitoli introdurremo un paio di metodi nell'ambito del modellizzare e risolvere e nell'ambito dell'apprendimento automatico (o machine learning - ML).

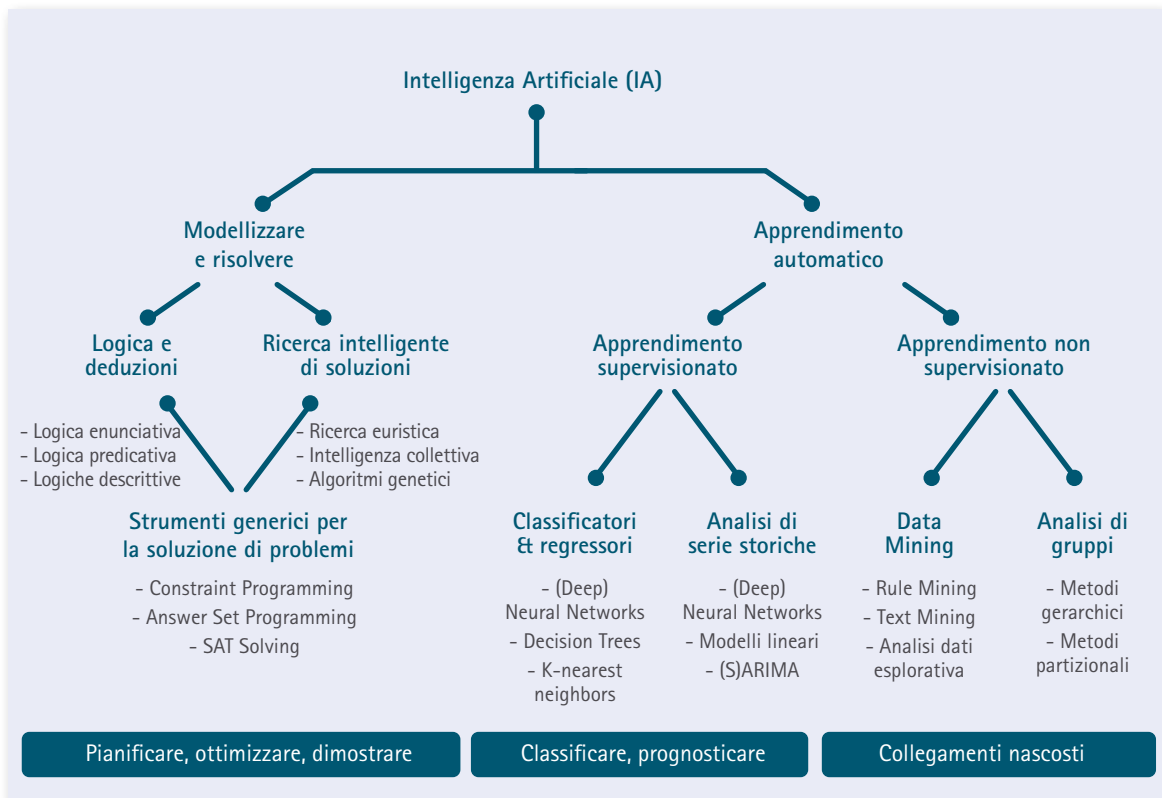


Figura 2: Metodologie di Intelligenza Artificiale

⁴ Facciamo presente a questo punto che non esiste una suddivisione universale dei metodi di Intelligenza Artificiale, tema ancora molto discusso nell'ambiente accademico. La suddivisione presentata in questo capitolo è finalizzata soprattutto all'applicazione pratica e alla comprensione. Alcuni aspetti di taglio accademico vengono qui volutamente tralasciati.

3

Modellizzare e risolvere

Questo capitolo vi permetterà:

- di conoscere più in dettaglio alcuni metodi nel campo del modellizzare e risolvere

La componente centrale di ogni metodo basato su un modello è una descrizione di una parte del dominio o mondo di applicazione (ad es. la rete viaria, le regole degli scacchi e gli stati di gioco, le descrizioni del funzionamento di macchine di produzione e i loro possibili stati, eccetera). Tale componente viene spesso chiamata modello, specificazione o base di conoscenza. A seconda della forma con la quale viene formulato tale modello, si possono distinguere varie correnti dell'IA classica.

Uno dei rami più antichi dell'IA (classica) ha origine nell'antica Grecia, quando i filosofi iniziarono a modellizzare il processo del pensiero mediante fatti logici e regole. Nel caso di questo metodo il modello (quindi la descrizione degli aspetti rilevanti di un dominio di applicazione o di una parte di mondo) è composto da un insieme di fatti logici e regole. La seconda componente importante sono una o più regole d'inferenza che, sulla base del modello, permettono di arrivare a conoscenze nuove, ad esempio a dedurre nuovi fatti.

Esempio:

Una regola d'inferenza molto nota è il *Modus Ponens*: se so che il prato si bagna sempre quando piove e inoltre so che in questo momento sta piovendo, ne posso dedurre logicamente che il prato è bagnato. Da un fatto noto (*piove*) e una regola nota (*piove --> bagnato*), quindi da un modello, è possibile dedurre un altro fatto (*bagnato*) mediante la regola d'inferenza. Queste e altre regole d'inferenza simili formano il cuore di tutti i sistemi di Intelligenza Artificiale basati sulla classica logica enunciativa, predicativa o descrittiva moderna.

Un altro importante settore dell'Intelligenza Artificiale classica si occupa della ricerca sistematica di condizioni finali (stati) o soluzioni. Il modello (quindi la descrizione del dominio di applicazione o del mondo) descrive possibili condizioni, azioni e variazioni di stato conseguenti⁵.

Esempio:

Prendiamo come esempio l'ottimizzazione dei percorsi dei robot di saldatura che realizzano in modo automatico dei punti di saldatura su uno schema di foratura (si veda la figura 3). La sequenza con la quale vengono realizzati i punti di saldatura incide in modo significativo sul tempo necessario per completare lo schema. Se occorre saldare molti schemi con lo stesso modello, si pone la sfida di calcolare la sequenza possibilmente ottimale dei punti di saldatura. Questo problema matematico di ottimizzazione è conosciuto come problema del postino cinese o anche problema del commesso viaggiatore. L'obiettivo è trovare un tragitto di minima percorrenza (ovvero più economico) che tocchi ciascun punto solo una volta e torni infine al punto di partenza.

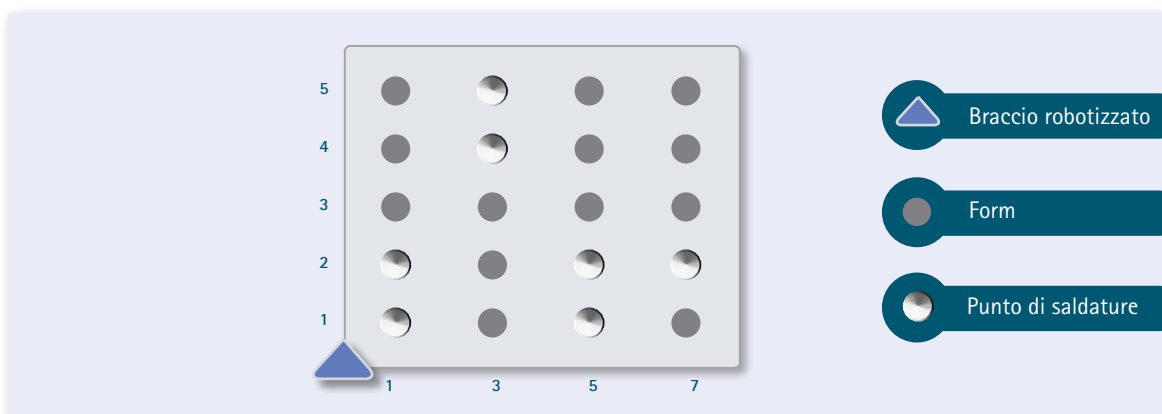


Figura 3: Ottimizzazione dei percorsi per robot di saldatura

⁵ Più in generale sono punti/posizioni in uno spazio di ricerca multidimensionale; posizione=stato e spazio di ricerca=insieme di tutti gli stati possibili/rilevanti.

Nel nostro esempio (si veda la figura 3) partiamo dal presupposto che per il posizionamento (automatico) e l'allontanamento di uno schema il braccio robotizzato debba essere nella posizione [0,0]. Inoltre, presupponiamo che le distanze orizzontali tra due fori ovvero tra due punti di saldatura siano lunghe esattamente il doppio delle distanze verticali tra due fori. Possiamo anche ipotizzare che il movimento in direzione orizzontale e in direzione verticale succeda contemporaneamente. Conseguentemente, un movimento del braccio robotizzato dalla posizione originaria [orizzontale=0, verticale=0] alla posizione [1,1] richiede esattamente un'unità di tempo. Il movimento da [1,1] alla posizione [3,2] richiederebbe due unità di tempo in quanto la distanza orizzontale sarebbe uguale a due e quella verticale solo a uno. Nel nostro esempio abbiamo sette punti di saldatura ([1,1], [1,2], [3,4], [3,5], [5,1], [5,2], [7,2]). Già in questo esempio molto piccolo abbiamo $7 * 6 * 5 * 4 * 3 * 2 * 1 = 5040$ diverse sequenze. Nella vita reale i problemi di questo genere sono molto più grandi; per questo non sarebbe assolutamente opportuno provare semplicemente alla cieca tutte le possibilità esistenti.

Metodi di ricerca intelligenti risolvono questo problema analizzando innanzitutto le possibilità più promettenti. L'algoritmo di ricerca greedy best-first search (letteralmente ricerca avida del migliore) costruisce a tal fine un albero di ricerca estendendo i rami prima in quei punti che sembrano più promettenti. Nel nostro esempio si potrebbe raggiungere sempre il punto di saldatura più vicino. In figura 4 vediamo un possibile albero di ricerca (o meglio una parte di esso): dopo l'avvio in [0,0] ci sono sette possibilità. Il punto di saldatura più vicino è posizionato in [1,1]. Partendo da [1,1] ci sono ora sei possibilità per ampliare il percorso. Quello con la distanza minore è [1,2]. Tra i cinque punti successivi ancora da toccare [3,4] sarebbe il più vicino, ecc. Arrivati in basso all'albero, ovvero quando il percorso è compiuto e tutti i punti di saldatura sono stati toccati, si ha una prima soluzione. Ora si può continuare a cercare visitando o ampliando nuovi percorsi e trovando così ulteriori e forse migliori soluzioni.

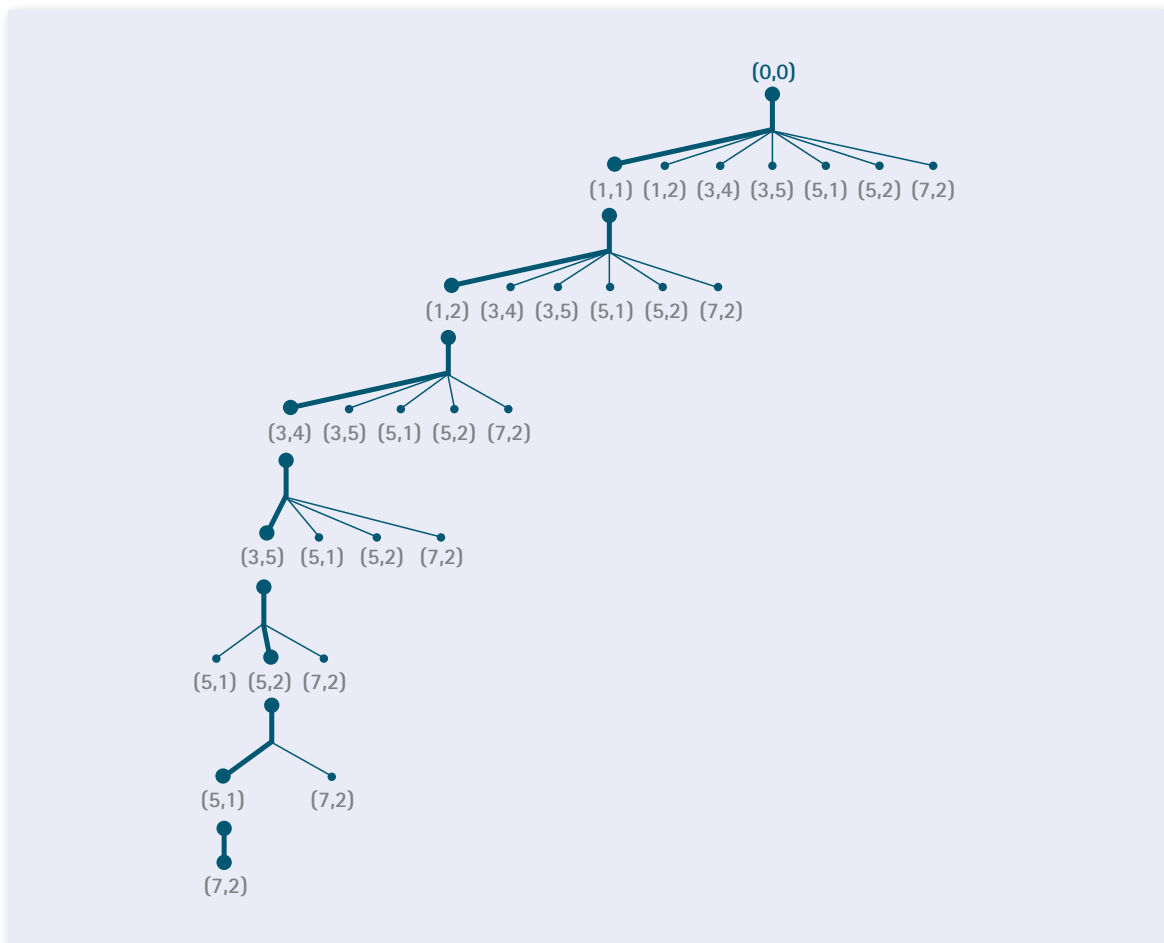


Figura 4: (Parte di un) possibile albero di ricerca per l'esempio in figura 3

Un altro approccio per cercare in modo mirato le possibili soluzioni consiste nell'iniziare già con una soluzione completa per poi migliorarla progressivamente. Ad esempio, si può tentare di ottimizzare la soluzione riportata in figura 5 toccando dopo [5,2] prima il punto di saldatura [7,2] e solo successivamente [5,1] (si veda la figura 6). In tal caso si arriva a una soluzione che richiede un'unità di tempo in meno rispetto alla soluzione di partenza⁶. La ricerca locale, gli algoritmi di intelligenza collettiva, gli algoritmi genetici e altri metodi evolutivi utilizzano questo principio più o meno esplicitamente per applicare, partendo da un risultato già esistente, graduali modifiche (locali) fino a raggiungere un cosiddetto ottimo locale.

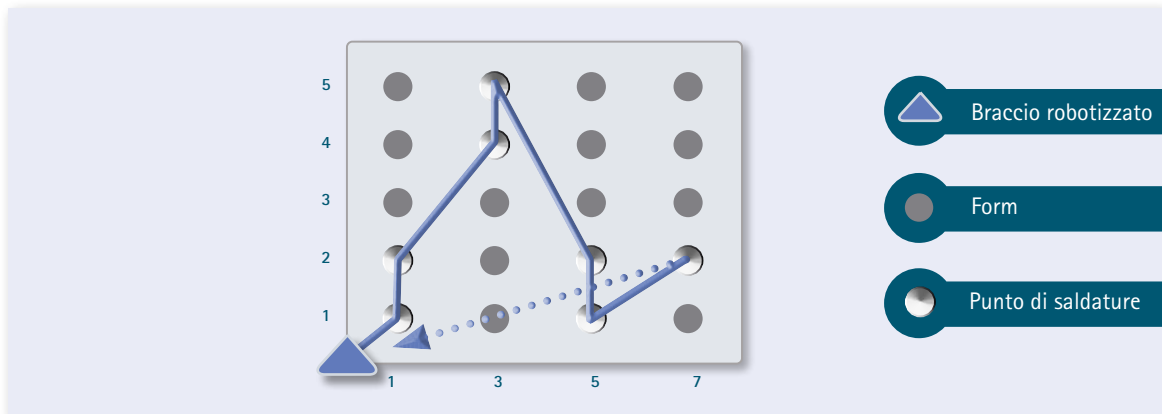


Figura 5: Possibile soluzione del problema dei robot di saldatura in figura 3

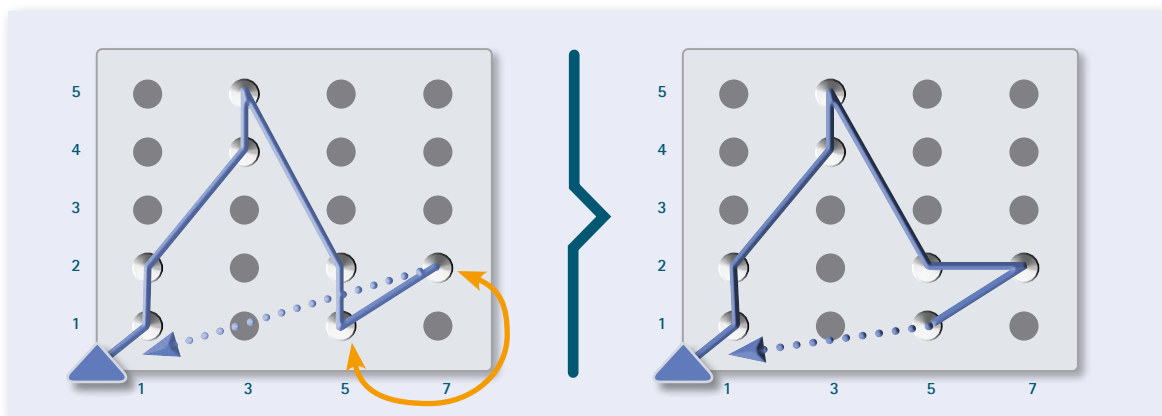


Figura 6: Modifica locale alla soluzione in figura 5

Dalla combinazione di logica e ricerca sono nati strumenti generici per la soluzione dei problemi che oggi vengono utilizzati con successo in economia per risolvere i problemi di pianificazione e ottimizzazione. Il principio alla base di questi strumenti è che con un linguaggio descrittivo basato sulla logica vengono rappresentati il modello e i criteri di soluzione. Una componente di ricerca intelligente applica automaticamente, ovvero da sola, varie regole d'inferenza fino a trovare una soluzione che corrisponda ai criteri precedentemente definiti (o fino a dimostrare che non esiste una soluzione).

⁶ La soluzione è ottimale.

4

Apprendimento automatico

Questo capitolo vi permetterà:

- di conoscere più in dettaglio alcuni metodi nel campo dell'apprendimento automatico

Contrariamente a quanto succede nell'IA basata su modelli, nell'apprendimento automatico (ML, dall'inglese *machine learning*) non c'è un modello da cui trarre conclusioni o sulla base del quale calcolare soluzioni. Nel caso dell'apprendimento automatico la redazione di un modello (oppure di un modello parziale) è invece l'obiettivo stesso. Anche in questo caso si possono distinguere in linea di massima due settori: l'apprendimento *supervisionato* (*supervised learning*) e quello non *supervisionato* (*unsupervised learning*)⁷. In entrambi i casi vengono forniti dei set di dati dai quali si cerca di apprendere qualcosa.

4.1 Apprendimento automatico supervisionato

In questo caso si dispone di un cosiddetto set di dati di allenamento che indica per un gruppo di esempi (di allenamento) anche la risposta corretta. Possiamo immaginare il set di dati di allenamento come una tabella che riporta nella prima colonna un'identificazione univoca (nome, numero) dell'esempio di allenamento, nell'ultima colonna la risposta corretta per l'esempio di allenamento e nelle colonne intermedie valori relativi a determinate caratteristiche (in inglese *feature*) che caratterizzano più in dettaglio l'oggetto dell'esempio.

A seconda che la caratteristica predetta possa o meno assumere un valore da un gruppo definito di simboli (ad esempio da un sottoinsieme dei numeri interi) si distingue tra classificazione e regressione.

4.1.1 Classificazione

Nella classificazione la risposta indica sempre l'appartenenza a una classe, ad esempio grande/medio/piccolo, rosso/verde/giallo/blu. Un caso speciale di classificazione è quella binaria, dove esistono solo due valori, quindi vero o falso, 1 o 0, fa parte o non fa parte della classe, spam=sì o spam=no, ecc.

	„Black Jack“	„Casino“	„Profitto“	„Contanti“	„Cash“	„Gratuito“	Spam
e-mail 1	sì	sì	sì	no	sì	no	sì
e-mail 2	sì	sì	no	sì	no	no	sì
e-mail 3	no	sì	sì	sì	no	no	sì
e-mail 4	no	no	sì	sì	sì	no	sì
e-mail 5	no	no	no	no	no	no	no
e-mail 6	no	no	no	no	no	sì	no
e-mail 7	no	no	no	no	sì	no	no
e-mail 8	no	no	no	sì	no	no	no

Tabella 1: Esempio di set di dati di allenamento per la classificazione di spam

Esempio:

La tabella 1 ci indica un esempio fortemente semplificato (ma fondamentalmente corretto) di un set di dati di allenamento che potrebbe essere utilizzato per l'individuazione di spam. Sostanzialmente i filtri spam verificano la presenza di determinate parole chiave in un'e-mail. Supponiamo che in passato esistessero (solo) otto e-mail, quattro delle quali gli utenti hanno identificato come spam (spam=sì), e per le quali era stata verificata, attraverso un precedente processo, la presenza di varie parole (ad esempio „cash“). Un algoritmo di apprendimento supervisionato può essere allenato con questo set di dati per apprendere come predire, sulla base della presenza delle parole „Black Jack“, ..., „Gratuito“, se un'e-mail è una spam o meno.

⁷ L'apprendimento per rinforzo (*reinforcement learning*) rappresenta una forma speciale di apprendimento automatico che comprende sia aspetti di ricerca basati su uno stato che aspetti dell'apprendimento supervisionato e non supervisionato.

In questo contesto un algoritmo molto semplice è il *metodo dei primi vicini*. Il principio è semplice quanto efficace: un oggetto nuovo ancora da classificare (nel nostro caso una nuova e-mail) viene paragonato sulla base dei valori caratteristici agli esempi riportati nel set di dati di allenamento. Gli esempi più simili vengono poi utilizzati per la previsione del nuovo esempio utilizzando un certo parametro, come il valore più frequente.

	„Black Jack“	„Casino“	„Profitto“	„Contanti“	„Cash“	„Gratuito“	Spam	Caratteristiche in comune con la nuova e-mail
e-mail 1	si	si	si	no	si	no	si	4
e-mail 2	si	si	si	si	no	no	si	4
e-mail 3	no	si	si	si	no	no	si	3
e-mail 4	no	no	si	si	si	no	si	5
e-mail 5	no	no	no	no	no	no	no	2
e-mail 6	no	no	no	no	no	si	no	1
e-mail 7	no	no	no	no	si	no	no	3
e-mail 8	no	no	no	si	no	no	no	3

nuova e-mail	si	no	si	si	si	no	???	si
--------------	----	----	----	----	----	----	-----	----

Tabella 2: Esempio di una classificazione spam per una nuova e-mail

La tabella 2 ci mostra il calcolo basato sui tre primi vicini dei valori esemplificativi di una fittizia nuova e-mail. Il confronto dei valori caratteristici identifica le e-mail 1, 2 e 4 come le tre e-mail più simili. In questo caso la somiglianza è rappresentata dal numero di valori caratteristici identici. L'e-mail 4 è quindi la più vicina con una somiglianza pari a 5. Le e-mail 1 e 2 hanno ancora una somiglianza di 4. Dato che la maggioranza di queste e-mail (in questo caso addirittura tutte) è classificata come spam, anche la nuova e-mail sarà classificata come spam. In questo metodo l'apprendimento, ovvero l'allenamento, si limita all'archiviazione di set di dati e alla prova per scoprire quale numero di primi vicini fornisca in media il risultato migliore.

Per illustrare meglio la generalità dell'apprendimento automatico supervisionato, in particolare dei metodi di classificazione, riportiamo a questo punto un ulteriore esempio. L'analisi automatica di immagini è una tipica applicazione di apprendimento automatico supervisionato. In questo caso si tratta di allenare un sistema attraverso un insieme di immagini precedentemente preparate⁸ (il set di dati di allenamento) in modo che alla presentazione o all'inserimento di una nuova immagine non ancora classificata il sistema possa decidere automaticamente se una tipologia di oggetti precedentemente allenata sia presente o meno nell'immagine.

Esempio:

Una delle prime applicazioni di analisi delle immagini è stato il riconoscimento automatico di cifre. Nel caso più semplice, per l'allenamento si usano immagini in bianco e nero. La figura 7 ci mostra l'utilizzo di tali immagini con 8x8 pixel⁹ in un set di dati di allenamento. Ciascuno dei 64 pixel ha un valore di 0=bianco oppure 1=nero. Il set di dati di allenamento è composto quindi da una tabella con 66 colonne; la prima colonna serve solo per l'identificazione univoca dell'esempio di allenamento, mentre l'ultima colonna contiene la risposta corretta. Ogni riga contiene le informazioni per un'immagine di allenamento. Il confronto con la classificazione spam di e-mail, già affrontata in questo capitolo, ci mostra che in fondo anche l'analisi delle immagini rappresenta lo stesso problema: pertanto si possono applicare gli stessi metodi.

⁸ La preparazione consiste in normalizzare, centrare, trasferire in bianco e nero, cambiare la risoluzione, ecc.

⁹ Nella realtà si usano quasi sempre immagini a risoluzione più alta, il che rende comunque più dispendiosi l'apprendimento e l'allenamento.

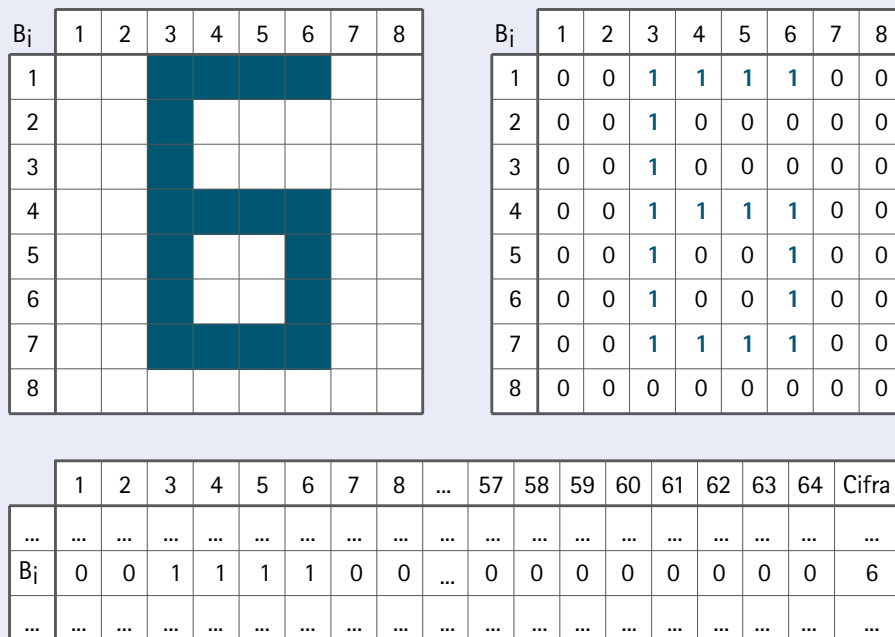


Figura 7: Il principio del riconoscimento automatico di cifre

4.1.2 Regressione

Se la caratteristica predetta ha un valore continuo, tipicamente in forma di decimale, come ad esempio temperatura, dimensione, peso, ecc., si parla di regressione. Anche nel caso della regressione l'obiettivo è predire il valore di una caratteristica sulla base di altri valori caratteristici. In questo contesto si parla molto spesso anche di variabili indipendenti (le caratteristiche date) e di una variabile dipendente (la caratteristica da predire).

Esempio:

Supponiamo di voler stimare, ovv. predire, il peso di una persona esclusivamente sulla base della sua grandezza, e che a tal fine abbiamo rilevato il set di dati di allenamento di cui alla tabella 3. Fondamentalmente il metodo dei primi vicini è utilizzabile anche per problemi di regressione. Nell'applicare questo metodo è però consigliabile utilizzare il valore medio dei primi vicini anziché il valore più frequente. Se, ad esempio, si vuole stimare il peso di una persona alta 180 cm utilizzando tre primi vicini, le persone 4, 6 e 8 hanno l'altezza più simile; la media aritmetica del peso è quindi $(73,6 + 81,6 + 78,8) / 3 = 78$.

	Altezza (cm)	Peso (kg)
Persona 1	188,4	81,8
Persona 2	187,0	78,6
Persona 3	157,1	60,2
Persona 4	174,6	73,6
Persona 5	159,3	59,2
Persona 6	185,9	81,6
Persona 7	154,3	55,8
Persona 8	185,0	78,8

Tabella 3: Dati esempio per la regressione

Qualora si potesse supporre un collegamento lineare tra le variabili ovvero tra le caratteristiche, ad esempio analizzando una nuvola di punti come in figura 8, si potrebbero utilizzare anche cosiddetti modelli lineari per la stima. In un caso bidimensionale come il nostro (che quindi ha solo due variabili o caratteristiche) un modello lineare corrisponde a una linea di tendenza¹⁰, che viene posizionata nella nuvola di punti in modo tale da ridurre al minimo le distanze tra i punti e la linea. Nel nostro esempio il valore stimato per 180 cm, secondo la linea di tendenza disegnata (intuitivamente) in figura 9, corrisponde circa a 76.

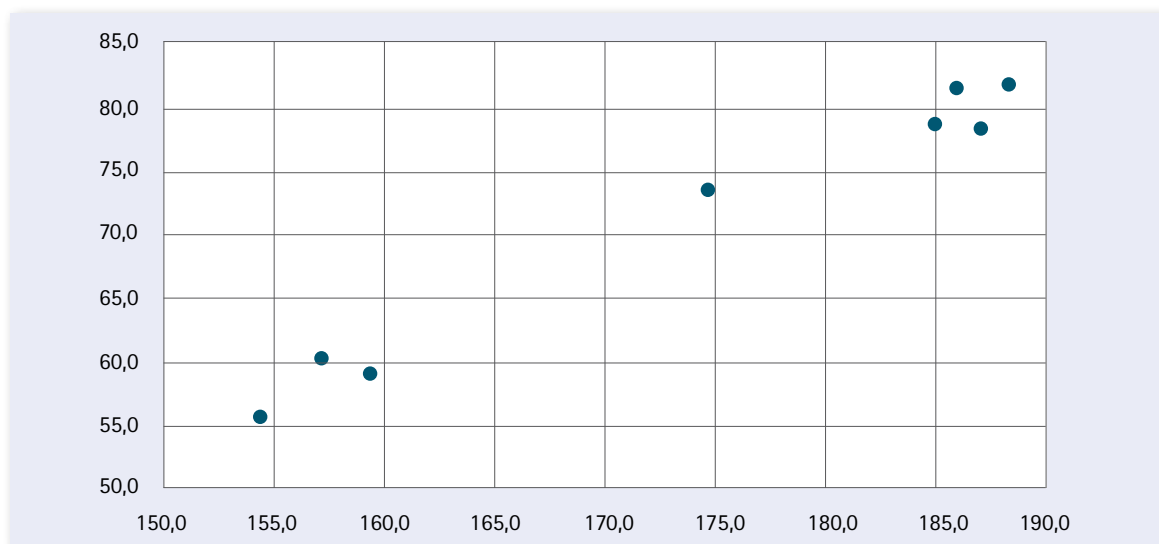


Figura 8: Nuvola di punti relativa ai dati di tabella 3

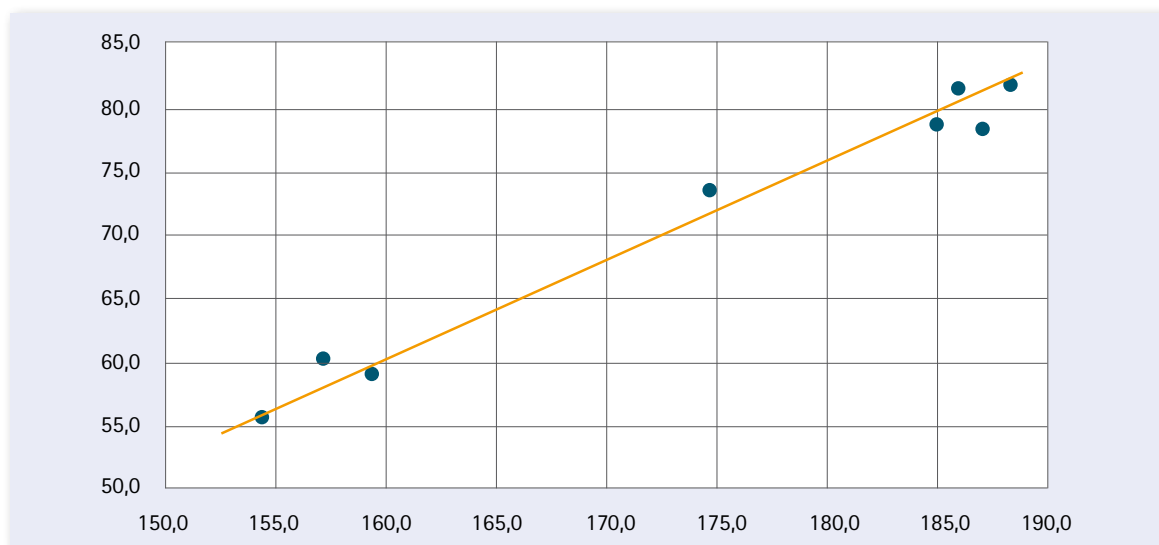


Figura 9: Nuvola di punti e linea di tendenza riferite ai dati di tabella 3

4.1.3 L'analisi di serie storiche

Un ulteriore campo dell'apprendimento supervisionato, che assume sempre più importanza, è l'analisi di serie storiche. Una serie storica è un insieme di valori misurati o rilevati in momenti diversi. Un tipico esempio sono dati meteorologici rilevati nel corso dell'anno. Altri esempi possono essere l'andamento delle azioni in borsa o tutte le grandezze fisiche pensabili che vengono misurate periodicamente con sensori per i più svariati scopi (temperatura, pressione, umidità, eccetera).

¹⁰ In caso di tre o più dimensioni invece di una linea si ha un (iper)piano.

Contrariamente a molti altri set di dati le serie storiche rappresentano una particolarità, in quanto i singoli dati sono inseriti in un andamento temporale. Ad esempio, la temperatura esterna di un determinato giorno dipende dalle temperature esterne dei giorni precedenti. In altre parole, l'analisi di serie storiche è un'autoregressione, il che significa che la caratteristica da predire dipende a volte dalla stessa caratteristica ricercata. Se è data una serie storica (quindi un insieme di valori con una dinamica temporale), l'analisi cerca di rispondere alla domanda su come tali valori si svilupperanno in futuro (si veda la figura 10). La serie storica rappresenta in questo caso il set di dati di allenamento che potrà essere utilizzato per applicare metodi di apprendimento supervisionato.

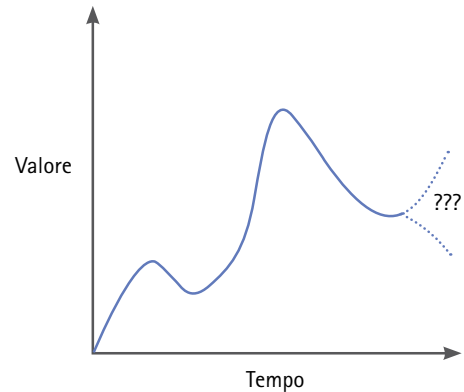


Figura 10: il problema dell'analisi di serie storiche

4.1.4 Deep Learning e reti neurali

Oltre alla procedura relativamente semplice (ma comunque spesso sufficiente) come il metodo dei primi vicini o modelli lineari, sia per la regressione che per la classificazione esistono oggi molte altre procedure che vengono applicate in particolare per dinamiche non lineari. Tra le principali figurano attualmente le reti neurali artificiali (artificial neural network - ANN). A seconda dell'architettura della rete, le reti neurali possono essere applicate a problemi di classificazione e regressione anche molto complessi.

L'idea di base delle reti neurali deriva dalla biologia, dove attualmente si presume che il sapere e l'intelligenza vengano archiviati nel cervello e distribuiti su una rete di neuroni. Il singolo neurone è relativamente semplice e dispone solo di abilità molto limitate per l'elaborazione di un'informazione. Attraverso l'attività combinata di molti neuroni, durante la quale i segnali in ingresso vengono lievemente modificati e trasmessi ad altri neuroni, nascono abilità cognitive complesse. In tal caso, l'apprendimento consiste in gran parte nel rafforzare o ridurre i segnali trasmessi.

La figura 11 ci mostra un ANN molto semplice. In ogni ANN i neuroni sono organizzati in strati. I neuroni dello strato di ingresso prendono in carico i valori inseriti (ad esempio le caratteristiche di un oggetto da classificare). I neuroni dello strato di uscita producono gli effettivi valori in uscita (ad esempio il risultato di una classificazione). Tra questi due strati ce ne possono essere altri, i cosiddetti strati nascosti di neuroni. Nel nostro esempio di rete riportato in figura 11 c'è esattamente uno strato nascosto con due neuroni (nascosti). Se una rete dispone di molti strati nascosti si parla di un **Deep Neural Net** e nel caso del rispettivo apprendimento o allineamento di **Deep Learning**. I Deep Neural Nets possono contenere oltre 20 strati con migliaia di neuroni.

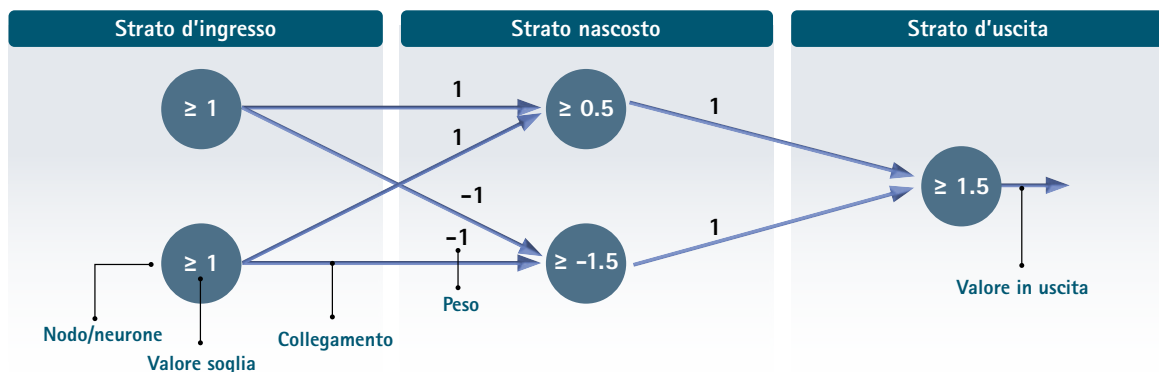


Figura 11: Una semplice rete neurale

Il numero di strati e di neuroni esistenti nella rete, nonché il collegamento tra gli stessi, costituiscono l'architettura dell'ANN. La figura 11 rappresenta un cosiddetto ANN *fully connected feed forward*: in questo caso i neuroni di uno strato sono collegati con tutti i neuroni dello strato successivo e i segnali vengono inoltrati solo a loro. Oltre a questa, esistono tante altre strutture, ad esempio *Recurrent*, dove i neuroni possono restituire dei segnali anche a neuroni di strati subordinati. La struttura di un'ANN dipende dal problema da risolvere e deve essere indicata da un ingegnere.

Inoltre, esistono vari tipi di neuroni che si distinguono, tra le altre cose, nel modo in cui i segnali pesati collegati a un neurone vengono trasformati in un segnale in uscita. Neuroni molto semplici utilizzano una funzione binaria di soglia. Essi possono produrre solo due valori: 0 e 1. Se la somma dei segnali in ingresso pesati è maggiore di una data soglia, viene prodotto il segnale in uscita 1, in caso contrario 0. I segnali in uscita vengono quindi collegati, una volta ridotti o rafforzati, come segnale in ingresso ai neuroni connessi. I rafforzamenti o le riduzioni avvengono attraverso le connessioni e sono rappresentate in forma di pesi con i quali vengono moltiplicati i valori.

In tutti gli approcci moderni di ANN, l'apprendimento avviene attraverso l'impostazione (automatica) dei „giusti“ pesi numerici e delle soglie nella fase di allenamento o apprendimento. La struttura stessa non viene modificata. I Deep Neural Network possono comprendere migliaia di pesi numerici. Ne consegue che nelle ANN il sapere è codificato in forma di struttura della rete e dei pesi numerici. In esse non viene invece rappresentato il sapere simbolico, come viene utilizzato, ad esempio, dall'uomo per inoltrare il sapere o per motivare le proprie conclusioni.

Esempio:

La figura 12 mostra il funzionamento di un calcolo del valore di uscita nella nostra rete illustrata in figura 11, se come ingresso al neurone (a) è collegato 0 e, al neurone (b), 1¹¹. Dato che nel neurone (a) non viene raggiunta la soglia di 1, il segnale in uscita di (a) è uguale a 0. Di conseguenza, (a) inoltra 0 anche ai neuroni connessi (c) e (d) e questo viene moltiplicato con i pesi 1 o -1 ($0*1=0$ e $0*-1=0$). Nel caso del neurone (b) viene raggiunta la soglia; pertanto il segnale in uscita sarà 1. Questo valore viene inoltrato direttamente al neurone (c) ($1*1=1$) e in modo negativo al neurone (d) ($1*-1=-1$). Nel caso del neurone (c) la soglia viene raggiunta, in quanto la somma dei segnali in ingresso trasmessi è $0+1=1$ e la soglia è pari a 0.5. Anche nel neurone (d) viene raggiunta la soglia, in quanto $-1+0=-1$ è maggiore di -1.5 . Quindi, i segnali in uscita dei neuroni (c) e (d) sono sempre 1. Successivamente, tali segnali arrivano come segnali in ingresso al neurone (e). Anche in questo caso viene raggiunta la soglia di 1.5 ($\rightarrow 1+1=2$), pertanto il segnale in uscita del neurone (e), che è il nostro unico neurone in uscita, è 1. Se ai neuroni (a) e (b) si inoltrasse rispettivamente un segnale in ingresso uguale a 1, l'uscita dal neurone (e) sarebbe 0. Anche nel caso si trasmettesse 0 ad (a) e 0 a (b) l'output sarebbe (0).

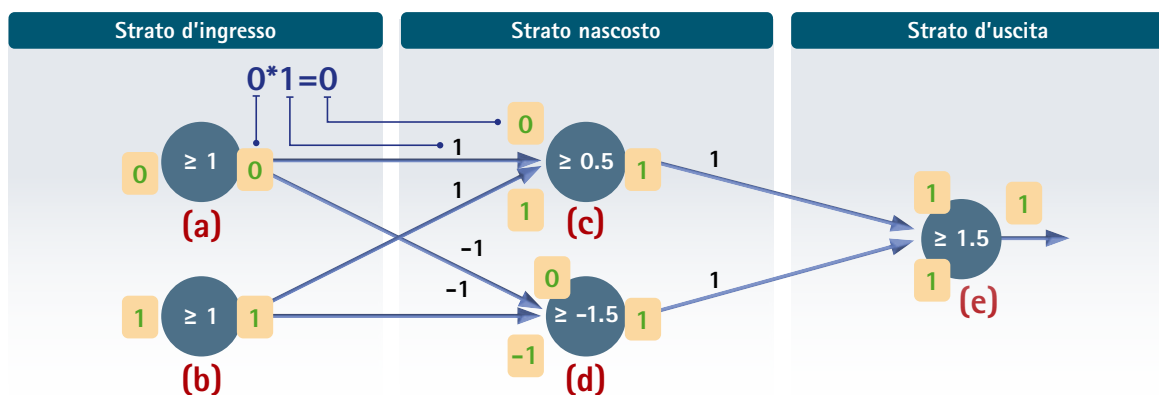


Figura 12: Esempi di calcolo per un ANN

¹¹ In genere è possibile utilizzare sia per i valori in ingresso e i pesi che per le soglie qualsiasi valore numerico.

Per ottenere un comportamento diverso dell'ANN, occorre modificare i pesi e/o le soglie. Questo processo di adattamento dei pesi e delle soglie è proprio quello seguito nell'allenamento di un ANN attraverso un set di dati di allenamento.

Va comunque precisato che dal punto di vista pratico la scelta del metodo di classificazione o di regressione è un problema secondario. Il problema primario consiste tipicamente nella predisposizione del set di dati di allenamento¹², ossia nella selezione, pulizia, correzione e normazione delle caratteristiche e dei valori. Non appena si dispone di un set di dati di allenamento di qualità sufficiente si possono provare tutti i metodi, le strutture ecc.

4.2 Apprendimento automatico non supervisionato

Contrariamente a quanto succede nell'apprendimento automatico supervisionato, dove esiste un set di dati (di allenamento) che comprende anche le risposte corrette per gli esempi di allenamento, nell'apprendimento automatico non supervisionato i set di dati non contengono alcuna indicazione in merito alle risposte corrette. Anche il processo stesso di apprendimento non è paragonabile a quello in modalità supervisionata. Nel caso dell'apprendimento automatico non supervisionato si tratta di trovare in modo automatizzato le connessioni nascoste in un set di dati. Ciononostante, nella maggior parte dei casi occorre un set di dati che sia strutturato in modo simile a un set di dati di allenamento: la prima colonna denomina un oggetto o esempio, a cui seguono le ulteriori colonne che contengono i valori caratteristici dei singoli oggetti o esempi. A seconda di come si analizza la connessione si applicano metodi differenti. In questo contesto occorre citare due campi importanti: il *data mining* e *l'analisi di gruppi (clustering)*¹³.

4.2.1 L'analisi di gruppi

Nell'analisi di gruppi si tratta di suddividere in classi oggetti o esempi all'interno del set di dati sulla base dei loro valori caratteristici. Nel fare ciò si segue il principio secondo cui in seguito alla suddivisione in classi (clustering) gli oggetti all'interno dello stesso cluster devono avere la massima similarità, mentre i vari cluster (o gli oggetti nei vari cluster) la massima dissimilarità.

Esistono numerosi metodi di clustering, anche molto differenti tra loro, soprattutto per quanto concerne il numero atteso di cluster, che può essere predefinito o meno. Inoltre, un oggetto potrebbe essere attribuito a uno o più cluster. Potrebbe variare anche il modo di calcolare la similarità, ossia la distanza tra due oggetti. Nel caso bidimensionale (nel quale gli oggetti hanno solo due caratteristiche) è possibile rappresentare il principio con un grafico molto semplice.

Esempio:

Prendiamo l'estratto di una banca dati di clienti fittizia nella quale, oltre al numero del cliente, vengono registrati anche la sua età e il fatturato che ha portato (ovvero le caratteristiche¹⁴). La figura 13 indica il set di dati, il rispettivo diagramma a punti e i gruppi (cluster). Evidentemente, secondo i cluster identificati possiamo distinguere quattro tipologie di clienti; questa potrebbe essere un'informazione importante per una strategia di marketing.

¹² Per motivi di comprensibilità, nella presente guida non approfondiremo la suddivisione del set di dati in set di allenamento, di validazione o di test.

¹³ Molto spesso l'analisi di gruppi viene descritta come *data mining*; in tal caso il data mining sarebbe da considerarsi un sinonimo dell'apprendimento automatico supervisionato. Per motivi di comprensibilità e genericità, nella presente guida distinguiamo i termini data mining, analisi di gruppi e apprendimento automatico supervisionato.

¹⁴ Dette a volte anche attributi o features.

Cliente	Età	Fatturato
1	42	2716
2	40	6579
3	53	7533
4	23	2152
5	24	1506
6	29	1520
7	19	2993
8	43	6323
9	48	7622
10	46	2282
11	43	1756
12	53	2783
13	20	2842
14	28	1596
15	27	5642
16	45	7441
17	54	6079
18	44	6127
19	21	6329
20	24	7808
21	31	6336
22	20	5533

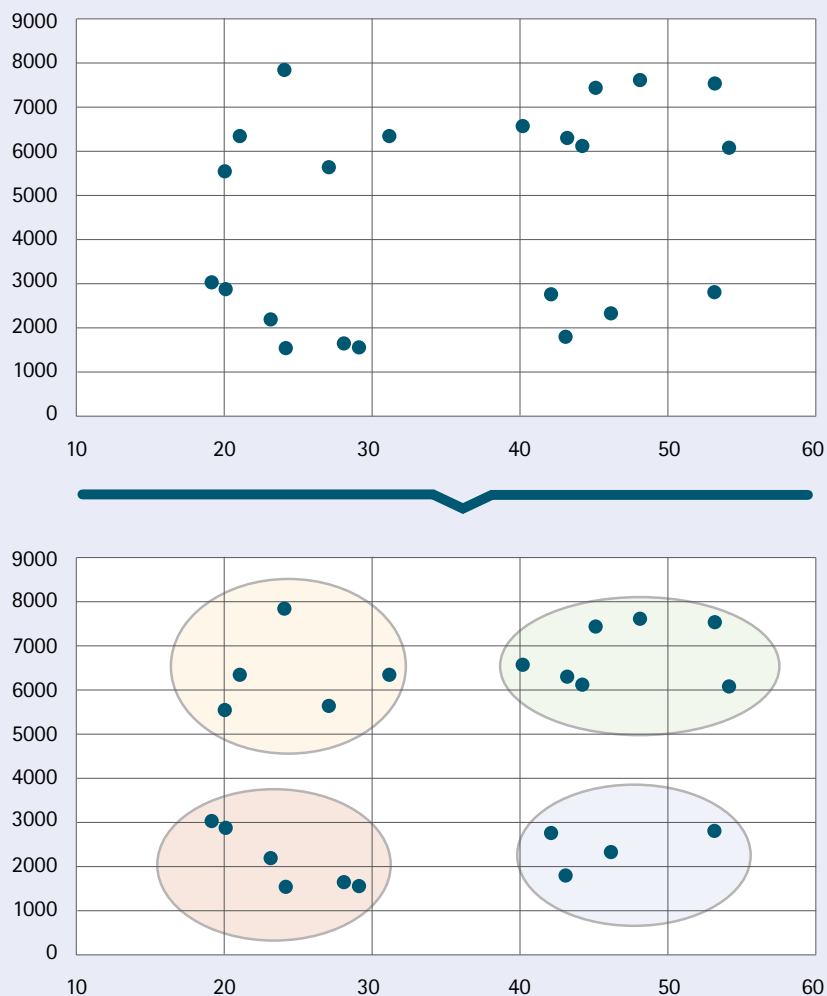


Figura 13: Esempio di analisi di gruppi

4.2.2 Data Mining

Contrariamente a quanto accade nell'analisi dei gruppi nella quale si raggruppano oggetti, negli ambiti di data mining le informazioni ricercate possono essere più complesse e riguardare correlazioni nascoste tra le righe di un set di dati (oggetti), le colonne (caratteristiche o features) o entrambe le cose. Un tale ambito è il *rule mining*, quindi la ricerca di regole all'interno di un set di dati. Un esempio frequente di applicazione del rule mining è l'analisi di panieri.

Esempio:

Molte aziende commerciali rilevano i dati di clienti, in particolare il momento dell'acquisto e quali prodotti vengono acquistati. Questi panieri archiviati possono rivelare, a un'analisi più attenta, delle associazioni, utilizzabili poi ad esempio per pubblicità mirate o altre misure promozionali. La tabella 4 ci mostra come è strutturato un set di dati di questo tipo¹⁵.

¹⁵ In realtà questi set di dati sono spesso composti da migliaia di colonne e centinaia di migliaia di righe.

Paniere	Prodotto 1	Prodotto 2	Prodotto 3	Prodotto 4	Prodotto 5	Prodotto 6	Prodotto 7
1	1	0	0	1	0	1	0
2	1	1	1	0	0	0	0
3	0	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	1	0	1	0
5	0	1	0	0	1	0	1
6	1	0	0	1	0	1	0
7	1	0	0	0	1	0	0
8	0	1	0	1	0	0	0
9	1	0	1	1	0	0	1
10	0	0	0	0	1	1	1

Tabella 4: Esempio di set di dati per l'analisi di un paniere (market basket analysis)

Nel nostro piccolo esempio abbiamo dieci panieri e sette prodotti in vendita. Ogni riga (a parte la prima) rappresenta un paniere; '1' significa che il prodotto era presente nel paniere e '0' che non era presente. Attraverso l'applicazione di algoritmi, ad esempio dell'algoritmo apriori, è possibile calcolare in modo efficiente (quindi anche in presenza di set di dati molto grandi), quali prodotti vengono comprati molto spesso insieme, in modo da poterne dedurre delle regole.

Nel nostro esempio riportato in tabella 4 i prodotti 1, 4 e 6 sono spesso - nel 30% dei casi - contenuti insieme in un paniere. Da ciò si potrebbe dedurre ad esempio la seguente regola: se ci sono il prodotto 1 e il prodotto 4, c'è anche il prodotto 6. Questa regola sarebbe probabilmente corretta nel 75% dei casi, in quanto il paniere 9 non contiene il prodotto 6, pur contenendo i prodotti 1 e 4. Invece, una regola con gli stessi prodotti che in base al set di dati sarebbe sempre corretta è la seguente: se ci sono il prodotto 6 e il prodotto 4, c'è anche il prodotto 1.

Una comprensione di massima dei due approcci di IA - modellizzare e risolvere vs. apprendimento automatico - è la base per una valutazione solida e fondata delle possibili soluzioni da applicare nella pratica.

5

Come riconoscere un potenziale progetto di IA di successo e applicarlo nella propria azienda

Questo capitolo vi fornirà:

- schemi di classificazione per identificare potenziali progetti di IA importanti
- tipici ambiti di applicazione di IA
- criteri per determinare il grado di difficoltà tecnica dei progetti di IA

L'introduzione dell'Intelligenza Artificiale in un'impresa è un progetto di innovazione. Tipicamente, se l'impresa vuole avere successo con progetti d'innovazione deve fare i conti sia con sfide tecniche, sia con gli aspetti economici, gestionali e organizzativi. Nei prossimi capitoli ci concentreremo sugli aspetti tecnici legati all'introduzione di metodi di IA e indicheremo ai lettori bibliografia utile per la gestione dell'innovazione¹⁶.

5.1 Come riconoscere un progetto di IA promettente?

In genere, per stabilire quali investimenti fare, occorrono un'analisi possibilmente precisa di costi e benefici e una valutazione dei rischi; ciò vale anche per l'introduzione di un progetto di IA. Tuttavia, l'Intelligenza Artificiale può essere applicata a numerosi processi, prodotti e servizi di un'impresa; pertanto è consigliabile concentrarsi sui progetti più promettenti. Alla luce dei potenziali benefici e oneri tecnologici è possibile classificare i progetti all'interno di un portafoglio progetti seguendo lo schema riportato in figura 14:

Attuare:

Si tratta di progetti per i quali si attende un elevato beneficio per l'azienda a fronte di un impegno tecnologico moderato. Per questi progetti occorre analizzare nel dettaglio i costi e i benefici in modo da poter decidere l'investimento da fare.

Ricercare:

Da questi progetti ci si attende un elevato beneficio per l'azienda, prevedendo però una difficoltà tecnologica elevata. Di norma ciò significa anche un rischio elevato per quanto concerne la realizzazione degli obiettivi tecnici. Questi progetti si prestano a lavori o cooperazioni di ricerca applicata. Il loro scopo è ridurre il rischio relativo alla stima della fattibilità tecnica e dei costi di una realizzazione. In questo modo viene predisposta un'analisi fondata di costi e benefici, migliorandone anche la precisione. Non è neanche escluso che ne consegua l'inattuabilità del progetto.

		sfida tecnica	
		elevata	bassa
utilità per l'azienda	elevata	ricercare	attuare
	bassa	evitare	osservare

Figura 14: Portafoglio progetti

Osservare:

Per questi progetti si ritiene che sia i benefici per l'azienda che la sfida tecnica siano moderati. Al momento hanno una priorità bassa. Potrebbero però assumere maggiore rilevanza nell'ambito di altri progetti o in caso di cambiamenti in azienda.

Evitare:

Questi progetti evidenziano un beneficio modesto per l'azienda e sono per il momento tecnicamente difficili da realizzare. Per poter essere presi in considerazione devono cambiare sia il beneficio per l'azienda che la tecnologia attualmente disponibile.

¹⁶ Ad esempio *Innovationsmanagement* di Hauschildt, Salomo, Schultz und Koch, sesta edizione, 2016, Vahlen ISBN 978-3- 8006-4728-6.

Nella redazione di un portafoglio progetti specifico per l'azienda occorre attuare le seguenti fasi:

1. Identificazione delle possibili applicazioni di IA
2. Valutazione del beneficio aziendale che producono
3. Valutazione delle sfide tecnologiche ad esse legate

Particolarmente importante è il primo punto. Da un lato non si devono tralasciare le applicazioni di IA particolarmente vantaggiose per l'azienda, dall'altro sarebbe poco efficiente occuparsi di applicazioni che dal punto di vista tecnico sono completamente irrealistiche o per le quali è evidente la mancanza di beneficio per l'azienda. Per poter identificare le applicazioni di IA più promettenti occorre pertanto comprendere a grandi linee le possibilità che offre la tecnologia, ma soprattutto possedere una conoscenza approfondita dell'impresa e del suo contesto, ad es. di clienti, fornitori, processi aziendali e procedure tecniche. Per una stima realistica delle possibilità è indispensabile poter valutare in linea di massima quale metodo potrebbe essere fondamentale indicato e quali presupposti devono essere soddisfatti per poterlo applicare.

Viste le ampie conoscenze richieste, i progetti di IA vengono solitamente identificati da team multidisciplinari. Per una comunicazione efficace all'interno di questi team è necessaria una reciproca comprensione di base.

Per supportare questa procedura tratteremo qui di seguito da un lato i campi aziendali nei quali si applica tipicamente l'IA, in modo da dare degli input per possibili applicazioni, e dall'altro affronteremo le sfide tecnologiche che l'impiego dell'IA comporta, formulando anche degli indicatori che rispecchiano il grado di difficoltà tecnica.

5.2 Ambiti di applicazione in azienda

I metodi di IA sono ormai applicabili a sempre più ambiti aziendali, una tendenza che sicuramente proseguirà. In molti campi della filiera di valore (si veda figura 15) si applicano già oggi gli strumenti di IA. Date le infinite possibilità forniremo in questo capitolo solo un quadro generale di possibili soluzioni. In internet e in letteratura si trovano numerose descrizioni di applicazioni riuscite.

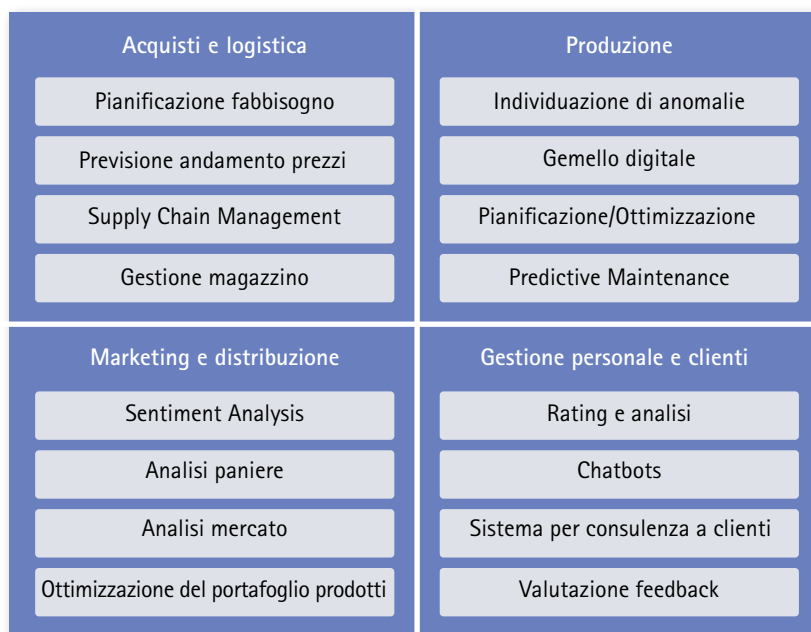


Figura 15: Tipici campi di applicazione di IA nella catena del valore

5.2.1 Approvvigionamento e logistica

Andamento dei prezzi e degli ordini:

Per molte aziende è importante poter prevedere nel reparto acquisti gli andamenti dei prezzi e degli ordini, in modo da pianificare correttamente il futuro fabbisogno e acquistare l'occorrente a condizioni vantaggiose. Sulla base dei dati del passato è possibile adottare le metodologie dell'apprendimento automatico (supervisionato), in particolare l'analisi delle serie storiche di dati. Nell'approvvigionamento l'IA viene anche utilizzata per monitorare in tempo reale i prezzi d'acquisto su internet e formulare delle previsioni sul loro andamento. Sulla base dei risultati si formuleranno delle raccomandazioni per la gestione degli acquisti. Nell'industria automobilistica si generano delle previsioni di ordini a partire dai dati relativi alle configurazioni online effettuate dagli utenti.

Pianificazione del fabbisogno:

In questo caso si applicano sia metodi di apprendimento automatico che metodi di modellizzazione e risoluzione. L'apprendimento automatico viene applicato per calcolare il futuro fabbisogno sulla base dei dati storici di consumo. L'approccio della modellizzazione, invece, può essere applicato in combinazione con una dettagliata pianificazione della produzione. La simulazione dei processi di produzione sulla base di una pianificazione ottimizzata della produzione fornisce i dati sul fabbisogno di materiale, energia e personale per l'approvvigionamento. Questa pianificazione permette anche un'integrazione ottimale e tempestiva dei fornitori.

Gestione flessibile della catena di produzione (supply chain management):

Oltre alla pianificazione tradizionale, l'IA permette anche di reagire in modo flessibile a eventuali inconvenienti. Qualora vi fossero degli intoppi nella produzione, vengono calcolati automaticamente processi alternativi. Per imprese con più stabilimenti si possono produrre anche soluzioni ai problemi che coinvolgano le altre sedi. Sulla base dei piani di produzione adattati vengono ricalcolate automaticamente anche le quantità necessarie e vengono coordinati i rifornimenti da parte dei fornitori.

Gestione magazzino:

Anche nell'automazione dei depositi cresce l'importanza dell'IA. I robot seguono sempre più spesso l'ingresso e l'uscita della merce e la composizione e l'imballaggio dei pacchetti merce. Nel campo della logistica inhouse si utilizzano robot di trasporto autonomi che si occupano degli spostamenti all'interno delle aziende. Grazie all'IA e alla combinazione con sensori di ultima generazione è stato possibile ridurre significativamente i costi per l'impiego di robot addetti al trasporto e allo stesso tempo aumentare la loro flessibilità e le loro abilità. I robot si possono muovere liberamente negli spazi assegnati ed eseguire semplici operazioni di carico e scarico. L'ottimizzazione di tali trasporti è un importante campo di applicazione dell'IA.

Logistica e trasporti:

Altre applicazioni frequenti di IA si trovano in imprese di trasporto e logistica, nella gestione del parco macchine e nella pianificazione delle rotte. La gamma di utilizzo è molto ampia e spazia dalla classica consegna di beni fino alla gestione di limousine di lusso. Si parla di aumenti di produttività fino al 100%.

L'IA viene applicata anche per ottimizzare il traffico merci su rotaia. Essa permette, ad esempio, di reagire in modo flessibile a imprevisti nel traffico delle merci. Automaticamente vengono calcolate composizioni alternative di treni e rotte in modo da ridurre al minimo gli effetti delle interferenze.

5.2.2 Produzione

Pianificazione della produzione:

Scheduling e pianificazione delle sequenze sono esempi classici di applicazione di metodologie di IA tratte dai processi di modellizzazione e risoluzione. Altre applicazioni si trovano in tutte le versioni di sistemi di produzione come in produzioni in serie, catene di montaggio o officine. A volte si ricostruiscono dettagliatamente al computer interi stabilimenti per poter simulare e pianificare in modo più reale possibile i vari processi. Questi cosiddetti gemelli digitali vengono poi combinati con metodi di pianificazione basati sull'IA, in modo da poter valutare e ottimizzare piani alternativi. In questo modo si ottiene un miglioramento dei tempi di percorrenza e del rispetto delle consegne.

Oltre ai processi di produzione si ottimizzano anche le configurazioni di macchine e fabbriche. A seconda del mix di prodotto si adattano il parco macchine e la capacità di lavorazione delle stesse in modo da ottenere i valori prefissati.

Produzione flessibile e mass customization:

La pianificazione basata sull'IA permette di reagire in modo flessibile agli inconvenienti. In caso di arresto dei macchinari i processi possono essere automaticamente ripianificati in modo da limitare il più possibile gli effetti sul rispetto delle consegne. Tale pianificazione flessibile è anche un importante elemento per la realizzazione di produzioni personalizzate per clienti a costi possibilmente bassi, idealmente agli stessi costi della produzione in serie. Nell'economia aziendale tale principio di produzione è detto anche mass customization.

Nella realizzazione di mass customization si utilizza l'IA sia per la pianificazione del prodotto che per la pianificazione della produzione. I sistemi di configurazione basati su metodi di modellizzazione vengono impiegati per pianificare prodotti personalizzati per clienti. La gamma di applicazione è molto ampia e spazia dai mobili e dalle automobili fino ai sistemi di sicurezza e di gestione. Ne risulta una vasta scelta di varianti da gestire nella produzione. Certi produttori di automobili non producono due auto completamente uguali nel corso dello stesso anno. Per poter gestire una tale varietà nella produzione si applicano sistemi di Intelligenza Artificiale al fine di pianificare e gestire le produzioni flessibili. In questo modo è possibile ridurre i costi di produzione così da rendere competitivi anche i prodotti su misura per i clienti.

Monitoraggio e manutenzione:

Un altro classico campo di applicazione dell'Intelligenza Artificiale sono la manutenzione preventiva e la diagnosi di macchinari. In questo caso si applicano da oltre trent'anni ormai sia l'apprendimento automatico che la modellizzazione. Siemens applica un sistema classico basato su regole per monitorare le turbine e i generatori. Le competenze degli esperti vengono codificate in forma di regole convertite dagli sviluppatori di software. Negli ultimi anni il monitoraggio e la manutenzione preventiva sono diventati però in modo crescente dominio dell'apprendimento automatico. Le applicazioni dell'apprendimento automatico per il monitoraggio e la manutenzione preventiva sono molto vaste e interessano numerosi macchinari di produzione.

Attraverso l'IA è possibile predisporre intervalli di manutenzione tali da limitare il meno possibile la produzione. La manutenzione preventiva è strettamente collegata alla pianificazione automatizzata della produzione. Da un lato la tecnologia capisce che la manutenzione è necessaria in un determinato intervallo per evitare un arresto costoso della macchina; dall'altro può determinare il momento ottimale per una manutenzione in modo da non limitare la produzione.

Sensori virtuali:

L'apprendimento automatico permette di introdurre nella produzione i cosiddetti sensori virtuali. In tal caso vengono utilizzate informazioni di sensori esistenti per allenare il comportamento di sensori virtuali

sulla base dell'apprendimento automatico. Questi sensori virtuali forniranno poi informazioni importanti per la gestione dei processi di produzione.

Analisi di oggetti e immagini:

In particolare sono i significativi progressi nell'analisi di immagini e oggetti attraverso l'apprendimento automatico che aprono numerose possibilità nella produzione. L'analisi delle immagini basata sull'IA viene applicata con grande successo nel controllo della qualità per individuare eventuali vizi nei prodotti e processi di produzione. La gamma di possibili applicazioni è molto ampia e spazia dal riconoscimento di errori in superficie fino alla classificazione della qualità di verdure.

Robot:

Un altro campo di grande successo per l'IA è la robotica. Grazie all'IA i robot possono essere impiegati con maggiore flessibilità nella produzione; essi svolgono semplici mansioni nel montaggio, nel rifornimento di materiale alle macchine o nella composizione di forniture. Le tecnologie robot di ultima generazione permettono a uomo e robot di collaborare nel settore della produzione. In prima linea c'è ovviamente la sicurezza nella cooperazione tra uomo e robot, scopo che si raggiunge anche attraverso la combinazione di sistemi a sensore e IA.

5.2.3 Marketing

Analisi dei comportamenti dei clienti:

Da tempo si analizza il comportamento degli acquirenti con strumenti convenzionali di statistica. L'Intelligenza Artificiale, e in particolare l'apprendimento automatico, offrono metodologie avanzate per l'analisi dei dati delle varie transazioni. In questo caso si applicano soprattutto i metodi del data mining per poter individuare nessi e causalità nascosti.

Riconoscere segmenti di clientela:

I metodi dell'apprendimento automatico non supervisionato, in particolare il clustering (analisi per gruppi), possono essere utilizzati per suddividere i clienti, distinguere meglio prodotti e prezzi e sviluppare strategie di marketing mirate. I metodi di apprendimento supervisionato possono essere applicati per identificare la tipologia di cliente (ad esempio nella navigazione sul sito di un'impresa o nello shop online). A seconda del tipo identificato viene attivata la pubblicità più adatta. Questo metodo è giunto alla ribalta anche durante una campagna elettorale negli Stati Uniti, traendone un'immagine alquanto negativa.

Big Data:

I sistemi di oggi utilizzati per l'analisi dei clienti e del loro comportamento di consumatori possono (o meglio devono) utilizzare molto spesso big data. Un big data non è semplicemente un insieme di tanti dati, ma di dati che provengono da fonti completamente differenti tra di loro, con formati e qualità diversi. Pulire e riunire secondo una certa logica questi dati è un compito molto complesso, ma offre l'opportunità di ottenere informazioni che altrimenti restano nascoste. Un esempio sono i dati di localizzazione e spostamento degli smartphone che, se connessi con dati convenzionali sui clienti e sui loro acquisti, permettono di trarre molte conclusioni anche complesse.

Clima dei consumatori:

Per l'analisi del clima dei consumatori si utilizzano metodi di apprendimento automatico (ad esempio *Natural Language Processing, Text Mining*) per rilevare automaticamente atteggiamenti o emozioni dei clienti in merito a un determinato tema, prodotto o impresa. Ciò potrà essere applicato anche a contenuti di blog, social media o simili.

Analisi di mercato:

Sapere come si sviluppa il mercato, quali sono le tendenze che si stanno delineando, come cambia il comportamento di un certo target o anche quali mercati nasceranno in futuro – a tutti questi quesiti è possibile rispondere in parte con il supporto dell'Intelligenza Artificiale. Un esempio è Google Trends; si tratta di un servizio che mette a disposizione dati sulla frequenza di ricerca di determinate parole. Tali dati possono essere filtrati, ad esempio, per regioni e venire così impiegati in modo molto efficace per analizzare alcuni mercati.

Ottimizzazione del portafoglio e gestione dei prezzi:

Sulla base dell'analisi dei clienti e dei mercati si possono gestire il portafoglio prodotti e i prezzi in modo tale da, ad esempio, massimizzare gli utili o soddisfare altri criteri di ottimizzazione. Dato che in parte si tratta di problemi classici di ottimizzazione si possono usare metodi basati sui modelli.

5.2.4 Gestione del personale e/o dei clienti

Human Resources Analytics:

Anche i tradizionali metodi di gestione del personale utilizzano i dati esistenti, come ad esempio gli aggiornamenti professionali dei dipendenti e i voti dei diplomi delle persone che si candidano per un posto di lavoro, per elaborare semplici statistiche (ad esempio la media dei voti delle persone nei processi di candidatura). I metodi di IA possono accrescere in modo significativo le possibilità analizzando automaticamente i curriculum vitae, ad esempio per stilare delle graduatorie, pronosticare il successo dei candidati o individuare le migliori misure formative per i dipendenti.

Rating dei clienti e verifiche di solvibilità:

Le banche utilizzano da tempo il software per la verifica di solvibilità e la stima del rischio di perdita dei crediti. I metodi previsti dall'Intelligenza Artificiale hanno ampliato queste possibilità. Affinché un'impresa possa classificare i clienti mediante metodi di Intelligenza Artificiale e valutare il rischio di mancato pagamento, occorre semplicemente un set di dati dei clienti che oltre ai dati anagrafici e demografici contenga anche i dati sull'affidabilità nei pagamenti. Tali informazioni potranno essere utilizzate per offrire condizioni adeguate.

Sistemi di esperti:

Una delle applicazioni di maggiore successo dell'Intelligenza Artificiale in tempi recenti sono i sistemi di esperti e consulenza per trovare i prodotti più interessanti all'interno di un vasto assortimento. Un esempio è Amazon, dove i clienti vengono indirizzati attraverso il suggerimento „spesso comprati insieme“ ad altre merci interessanti. Ma anche su altri siti si trovano sistemi di consulenza specifici (sistemi recommender) che permettono una consulenza di prodotto virtuale o che facilitano la ricerca di prodotti adatti in un assortimento prodotti e proposte molto vasto. Un esempio sono banche e assicurazioni. Da un lato vengono messi a disposizione del cliente sistemi di consulenza virtuali sul sito per trovare prodotti adatti al cliente. Dall'altro molti collaboratori esterni utilizzano software di consulenza specifici per gestire durante i colloqui con i clienti la molteplicità e complessità di prodotti finanziari e assicurativi.

Chatbots:

Una variante dei sistemi di consulenza virtuali sono i chatbot. Tali sistemi utilizzano metodi di analisi del linguaggio (in inglese *natural language processing*) per comunicare con clienti o utenti in un linguaggio naturale. In questo modo è possibile automatizzare determinate interazioni con i clienti, come ad esempio rispondere a domande frequenti. Ciò permette spesso di ridurre i costi e migliorare i servizi.

5.3 Sfide tecnologiche

In questo capitolo formuleremo ora indicatori per le sfide tecniche legate alle varie applicazioni. I metodi di Intelligenza Artificiale servono per realizzare determinate funzioni (si veda la figura 16). In questo non si differenziano dal software tradizionale. La differenza dei metodi e degli approcci consiste nel modo in cui viene realizzata tale funzione. I metodi di IA sono finalizzati a un impiego possibilmente ampio. La funzione da realizzare potrebbe essere, ad esempio, un sistema per consigliare determinati prodotti. Gli input sarebbero in questo caso i precedenti comportamenti di tutti i clienti, i desideri concreti di un cliente e la banca dati dei prodotti. Un possibile output potrebbe essere un elenco di suggerimenti di acquisto.

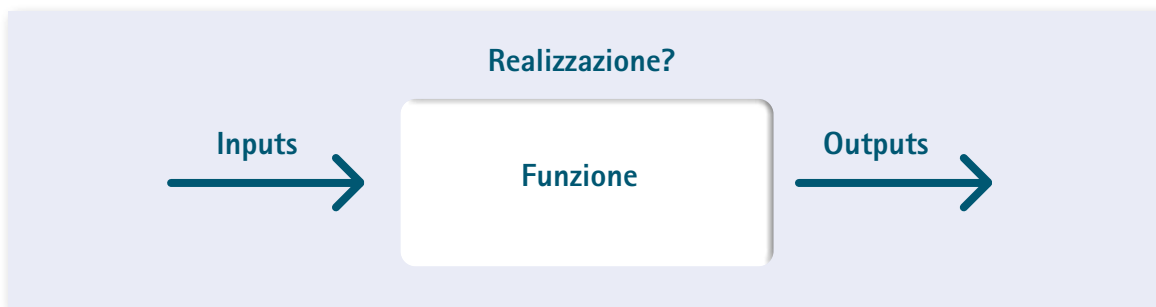


Figura 16: Funzione per realizzare un determinato comportamento input-output

La funzione da realizzare potrebbe però implementare anche la gestione di un robot. In questo caso l'input sarebbe la quantità di informazioni dei sensori e l'ordine da impartire al robot. L'output invece è una sequenza di comandi di gestione ai motori del robot.

Come già illustrato nel capitolo 2.2, i metodi di Intelligenza Artificiale per le realizzazioni di tali funzioni vengono attualmente suddivisi in due gruppi:

1. In un gruppo di metodi (modellizzazione e risoluzione) nei quali l'uomo *specifica* un output per *tutti* gli input ammessi. Tale specificazione avviene ad esempio attraverso regole, leggi, processi o algoritmi. Nel caso ideale si descrive *cos'è* una soluzione. Il metodo di Intelligenza Artificiale provvederà invece autonomamente a trovare la soluzione. Per trovarla, in questo caso, non occorre programmare un algoritmo.

2. In un gruppo di metodi (apprendimento automatico) nei quali la funzione viene appresa sulla base di osservazioni, ossia set di dati, quindi *prodotta automaticamente*. Queste osservazioni sono solo una specificazione *incompleta* della funzione.

Ognuno di questi metodi ha vantaggi e svantaggi nonché requisiti specifici per la sua applicazione. Per la valutazione degli svantaggi e dei vantaggi sono determinanti le esigenze aziendali che la funzione dovrà soddisfare. Tali esigenze hanno importanti ripercussioni sulla sfida tecnica.

Le principali esigenze e caratteristiche che la funzione dovrà soddisfare sono:

Correttezza:

La realizzazione della funzione deve generare sempre un output corretto? Ad esempio: è richiesto che, ogni volta che un sistema video utilizzato per riconoscere elementi difettosi riconosce un difetto, si tratti veramente di un errore o saranno tollerate anche segnalazioni sbagliate? Nel tal caso verrebbe segnalato un errore nonostante l'elemento sia in ordine.

Completezza:

La realizzazione della funzione deve generare un output per tutti gli input? Ad esempio: in caso di individuazione di elementi difettosi se l'immagine video contiene un elemento difettoso va segnalato sempre un errore, oppure il sistema potrà anche omettere elementi difettosi?

Richiesta in tempo reale:

Gli output devono essere prodotti entro un certo margine di tempo? Ad esempio: un sistema video per l'individuazione di elementi difettosi deve reagire entro un determinato periodo?

Garanzia di qualità:

La funzione dovrà generare sempre l'output ottimale? Ad esempio: un programma per la pianificazione della produzione deve fornire sempre il piano di produzione ottimale o è sufficiente un piano molto vicino al massimo livello?

Capacità di spiegazione:

Gli output della funzione devono essere ripercorribili in una forma accessibile per l'uomo? Ossia, il calcolo di un output o il non-calcolo dello stesso può essere spiegato in modo tale che questa spiegazione venga accettata dall'uomo?

Queste esigenze principali sono determinate dal campo di applicazione e dagli obiettivi dell'applicazione. Inoltre, influiscono in modo significativo sui costi. A seconda del metodo di Intelligenza Artificiale utilizzato si prevedono costi differenti. Bisogna considerare i seguenti fattori di costo:

Costi del personale nella fase di sviluppo:

Si tratta dei costi per il personale riferiti a una prima realizzazione della funzione.

Costi del personale in fase di manutenzione:

Si tratta dei costi per il personale necessari per l'adattamento della funzione realizzata.

Costi di calcolo in fase di sviluppo e manutenzione:

Si tratta dei costi per risorse informatiche necessarie per lo sviluppo di una funzione.

Costi di calcolo durante l'attività produttiva:

Si tratta dei costi per risorse informatiche che sorgono durante l'attività di applicazione in produzione della funzione realizzata.

I costi per gli strumenti di sviluppo dipendono dal metodo di IA e dall'applicazione. Nella maggior parte dei casi questi costi sono relativamente bassi.

Come al solito i costi possono essere ridotti in dipendenza del grado di individualità della missione da risolvere attraverso acquisizioni aggiuntive di sistemi e servizi. Se si tratta di una soluzione su misura per l'impresa i costi di sviluppo sono molto alti rispetto a quelli per un software di massa; d'altra parte, con un software fatto su misura si ottiene anche un vantaggio strategico diventando più competitivi.

Di seguito forniamo rispettivamente check-list e linee guida per le due principali metodologie di Intelligenza Artificiale:

- Un'implementazione della funzione attraverso la specificazione del comportamento input/output (I/O) (modellizzazione e risoluzione)
- Una generazione della funzione attraverso l'apprendimento automatico sulla base di dati

Tali check-list e linee guida si basano sullo stato attuale della scienza. Anche se possono essersi rivelate valide per decenni non si escludono modifiche. In particolare, per gli attuali progetti di ricerca è un obiettivo importante l'integrazione dei due citati campi metodologici.

Le risposte alle domande di queste check-list permetteranno una stima di massima della sfida tecnica richiesta per risolvere un determinato problema.

Le check-list sono strutturate come segue:

1. Requisiti per l'applicazione
2. Vantaggi/Svantaggi/Attenuazione dei rischi
3. Fattori che fanno aumentare o ridurre i costi
4. Compiti dell'impresa per la preparazione dell'analisi tecnica

6

Applicazione di metodologie di Intelligenza Artificiale sulla base di modellizzazione e risoluzione

Questo capitolo vi fornirà:

- i requisiti per l'applicazione del modello di modellizzazione e risoluzione
- i criteri essenziali per determinare il grado di sfida tecnica nell'applicazione di tale approccio
- la preparazione all'applicazione di questo approccio

6.1 Requisiti per l'applicazione

La modellizzazione e risoluzione presuppone che un uomo possa specificare per tutti gli input ammessi quale sia l'output desiderato della funzione da realizzare. In questo caso l'uomo specifica completamente il comportamento I/O della funzione desiderata (figura 16).

Gli indicatori e le domande da porre per verificare tale requisito sono:

❏ Gli esperti possono formulare regole, formule, modelli o processi in modo da poter decidere per tutti gli input ammessi se l'output è corretto? Tali descrizioni esistono solitamente per la costruzione di sistemi tecnici. Le leggi della fisica e della chimica nonché le conoscenze delle discipline ingegneristiche specificano quanto un sistema tecnico soddisfa la specificazione di un cliente. Troviamo una situazione analoga nel campo della produzione: i processi di produzione definiscono quali processi debbano essere attuati per ottenere un prodotto corretto. Se le possibilità tecniche dei macchinari o le specificazioni dei clienti cambiano, gli esperti potranno produrre soluzioni sulla base del loro sapere definito attraverso regole, formule e leggi.

Tuttavia, in alcuni ambiti è molto difficile dare una tale specificazione generale, oppure è impossibile realizzarla. Ad esempio, il controllo visivo richiede spesso molta esperienza. Altro esempio: è molto difficile descrivere se le punture di insetti in un pezzo di cuoio permettono la trasformazione di tale materiale in un orologio da polso di lusso; ciò richiede la formazione di un'esperienza attraverso un addestramento pratico. Un esperto riconosce la qualità sulla base della propria esperienza. Spesso risulta però difficile definire attraverso regole tale esperienza¹⁷.

Per poter verificare i requisiti occorre analizzare quante competenze e abilità sono necessarie. Gli umani possiedono un eccezionale sistema visivo per riconoscere gli oggetti, ottime abilità manuali e una cultura generale molto vasta sul mondo e sulle sue interconnessioni.

❏ Se si tratta di un problema di ottimizzazione, è possibile che gli esperti definiscano i criteri di ottimizzazione? In alcuni casi ciò risulta molto semplice, ad esempio se la richiesta è ridurre i ritardi nella produzione. In altri casi, in particolare quando si tratta del gusto dell'uomo, una specificazione generica è molto difficile. Ad esempio, se un computer deve generare un ritratto più simile possibile allo stile di un artista (ad esempio Egon Schiele), è molto difficile specificare in via generale la somiglianza. Gli esperti di arte possono fornire una stima della somiglianza se vedono i ritratti generati e possono paragonarli.

Un altro importante presupposto per l'applicazione della modellizzazione e risoluzione è la realizzabilità pratica. Questa viene determinata principalmente dalle caratteristiche richieste per la realizzazione di una funzione:

- ❏ Occorre calcolare per ogni input sempre un output corretto? Quali errori sono tollerabili?
- ❏ Occorre sempre trovare una soluzione ottimale o basta anche una soluzione soddisfacente?
- ❏ Occorre garantire lo svolgimento in tempo reale?

Le caratteristiche richieste per la funzione devono ammettere una realizzabilità tecnica. Questa può essere stimata, con tutte le cautele del caso, sulla base di applicazioni simili già realizzate. Tuttavia, il diavolo è nei dettagli. Problemi apparentemente piccoli possono rivelarsi molto difficili. Come regola generale si può supporre che, più è vasta la descrizione di un problema, e più severe le richieste di correttezza, completezza, stato ottimale e reazioni in tempo reale, tanto più difficile sarà la realizzazione tecnica.

¹⁷ È interessante che ciò valga anche per scienze formali come la matematica e la fisica teorica. Diversi scienziati molto famosi erano dell'avviso che la qualità o eleganza di teorie sia „visibile“, ma non specificabile.

6.2 Vantaggi

Se tutti i presupposti sono soddisfatti, allora un punto di forza essenziale di questo approccio sarà che potrà garantire tutte le qualità richieste. Ciò significa che una possibile richiesta di correttezza, completezza, esecuzione in tempo reale o stato ottimale potrà essere garantita, tenendo presente che tali garanzie dipendono dalla qualità delle descrizioni e dalla realizzazione tecnica.

Un altro punto di forza di questo approccio è la possibilità di spiegare le soluzioni (gli output). Le descrizioni delle funzioni vengono in genere redatte dall'uomo. Per questo motivo i calcoli delle soluzioni possono essere interpretati dall'uomo. Le denominazioni e i simboli utilizzati nella realizzazione di una funzione corrispondono ai concetti e modelli utilizzati solitamente dall'uomo. Ad esempio, se un insieme di applicazioni di regole classifica una persona come affidabile nei pagamenti, gli esperti potranno valutare la plausibilità o l'ammissibilità morale delle regole nonché validare la correttezza di tali applicazioni di regole, poiché queste sono state formulate sulla base di simboli che l'uomo utilizza nei propri modelli riferiti al mondo.

Se nelle descrizioni si considerano anche potenziali variazioni, la funzione da realizzare avrà un'elevata capacità di adattamento. Ad esempio, se ai fini della pianificazione della produzione da un lato viene descritto un sistema di produzione sulla base dei macchinari e delle loro possibili operazioni di produzione, e dall'altro vengono specificate per ogni prodotto le operazioni di produzione necessarie, sarà molto semplice adattare una pianificazione di produzione automatizzata ai nuovi macchinari e prodotti adeguando semplicemente la descrizione del parco macchine e dei prodotti stessi.

6.3 Svantaggi

La soddisfazione dei suddetti presupposti è allo stesso tempo anche il tallone d'Achille di questo metodo. Potrebbe essere un problema per gli esperti redigere in collaborazione con gli esperti di Intelligenza Artificiale le descrizioni nella qualità necessaria. Inoltre, i requisiti posti alle qualità della funzione da realizzare potrebbero comportare che la funzione non possa essere praticamente calcolata da una macchina. Ciò non dipende necessariamente dalle capacità degli esperti di Intelligenza Artificiale e dallo stato attuale delle tecniche informatiche disponibili. Esistono limiti teorici per la possibilità (pratica) di risolvere problemi, dovuti alla durata e al consumo di memoria.

6.4 Limitazioni dei rischi

Il rischio insito nella redazione di una descrizione di qualità sufficiente può essere ridotto attraverso la delimitazione del campo interessato. Se per un campo limitato si riesce a descrivere per tutti gli input l'ammissibilità di un output osservato, ciò è indice di una buona descrizione del problema per l'applicazione del metodo di modellizzazione e risoluzione.

Il rischio di una soddisfazione pratica delle qualità richieste a una funzione per quanto al tempo occorrente e alla qualità dell'output può, a sua volta, essere ridotto attraverso l'adattamento del campo interessato e dei requisiti richiesti. Se è possibile redigere delle descrizioni di qualità sufficiente e si vogliono migliorare dei processi che vengono già svolti all'interno dell'impresa, ciò è da ritenersi un indicatore positivo a favore della calcolabilità pratica di soluzioni.

Un altro indicatore positivo a favore della realizzabilità della funzione desiderata è la possibilità di identificare problemi simili e già risolti in altre imprese. Forse esistono già soluzioni software commerciali concrete da adattare al problema posto.

Occorre comunque fare attenzione quando, sulla base di problemi analoghi già risolti, si classifica contenuta la sfida tecnica per la realizzazione di una funzione. Piccole differenze nel quesito posto possono avere

grandi effetti sulla fattibilità tecnica. Gli studi di fattibilità che risolvono in via sperimentale le parti difficili di un quesito forniscono già una stima molto affidabile della realizzabilità tecnica e possono quindi essere utilizzati per la riduzione del rischio.

6.5 Fattori che fanno aumentare o diminuire i costi

Costi del personale per la fase di sviluppo:

I costi per lo sviluppo dipendono dal grado di difficoltà della redazione delle descrizioni. Più è limitato il campo interessato, meno costi ci saranno per la descrizione. Esigenze di correttezza, completezza, capacità di reagire in tempo reale o garanzie di qualità possono causare un significativo aumento dei costi in questa fase. In molti casi incide anche l'entità del problema e degli input. In genere problemi di pianificazione della produzione che prevedono un migliaio di operazioni sono facilmente gestibili. Problemi con più di un milione di operazioni, invece, comportano probabilmente costi di sviluppo significativi.

Costi del personale per la manutenzione:

Se è possibile prevedere cambiamenti tipici, come ad esempio nel parco macchine o nel portafoglio di prodotti, tali adattamenti possono essere inseriti a basso costo nelle descrizioni. Nel caso di problemi molto grandi che richiedono spesso strategie specifiche per la ricerca della soluzione potrebbe essere necessario ridisegnare la strategia specifica, il che comporterebbe costi notevoli.

Costi di calcolo in fase di sviluppo e manutenzione: :

Solitamente i test di stress vengono eseguiti solo a conclusione della redazione delle descrizioni e dello sviluppo della funzione. Pertanto i costi di calcolo saranno inferiori a quelli in attività produttiva.

Costi di calcolo durante l'attività produttiva:

A seconda della dimensione del problema o delle caratteristiche della funzione da realizzare possono sorgere costi significativi durante l'attività produttiva. La richiesta di una soluzione ottimale dimostrabile comporta solitamente un aumento notevole dei costi di calcolo. Se sono sufficienti soluzioni che migliorano lo stato attuale, ma che probabilmente non sono ottimali, si possono ottenere risparmi considerevoli in questo punto.

I costi legati allo sviluppo possono forse essere ridotti acquisendo sistemi e servizi esterni. Ciò dipende dall'individualità del quesito posto e va comunque verificato per il problema concreto. Per campi classici come ad esempio configurazioni di prodotti o pianificazione della produzione esistono dei sistemi che possono essere adattati alle esigenze delle imprese. In ogni caso si dovranno comunque prevedere dei costi di lavoro per la descrizione del comportamento input/output desiderato. Anche per quanto concerne l'acquisto di sistemi aggiuntivi i fattori rappresentati sono comunque un indice dei costi per l'acquisto.

6.6 Compiti dell'impresa per la preparazione dell'analisi tecnica

Per valutare la difficoltà tecnica di una possibile applicazione di modellizzazione e risoluzione bisognerebbe svolgere i seguenti preparativi:

- Occorre mettere per iscritto una descrizione sufficientemente dettagliata (testuale) del problema da risolvere. Se si riesce a descrivere un problema in modo tale che persone esterne alla materia possano valutare per tutti gli input ammissibili se un output rappresenti o meno una soluzione, è già stato fatto un passo significativo verso un impiego riuscito di modellizzazione e risoluzione.
- Se la funzione da realizzare deve risolvere un problema di ottimizzazione, l'impresa deve essere in grado di descrivere in modo possibilmente esatto il criterio di ottimizzazione. Sarebbe auspicabile una formulazione matematica. Un'eventuale descrizione testuale dovrebbe permettere alle persone che non sono del mestiere di poter paragonare la qualità delle soluzioni. Esistono campi di applicazione nei quali gli esperti possono effettuare solo un confronto tra le qualità delle soluzioni se sono in grado di „vederle“. Questo fatto indica che il criterio di ottimizzazione probabilmente non può essere descritto in maniera sufficiente.
- Requisiti e caratteristiche devono essere definiti in modo chiaro attribuendo loro anche una priorità. Se possibile si devono specificare degli indicatori che valutano la qualità della funzione realizzata. Come possiamo misurare se una funzione realizzata è soddisfacente?

Se si dispone di tali descrizioni si sono già svolti lavori preliminari importanti e necessari per l'analisi di una possibile applicazione di modellizzazione e risoluzione.

7

Applicazione di metodologie di Intelligenza Artificiale basate sull'apprendimento automatico

Questo capitolo vi fornirà:

- i presupposti per l'applicazione dell'apprendimento automatico
- i criteri essenziali per determinare il grado di sfida tecnica nell'applicazione di tale approccio
- la preparazione all'applicazione di questo approccio

7.1 Requisiti per l'applicazione

Il principale presupposto per l'applicazione di metodi di apprendimento automatico è poter disporre di dati rilevanti in quantità e qualità sufficiente. Da questi dati l'apprendimento automatico genererà autonomamente una funzione. Ciò significa che la procedura di apprendimento automatico produrrà un output per valori di input che non sono mai stati osservati e che pertanto non sono presenti nei dati. La prognosi della qualità della funzione generata e la sua idoneità per l'impiego in produzione sono pertanto fondamentali.

Per poter valutare se sono presenti i dati rilevanti bisogna definire in maniera più chiara possibile il problema, proprio come nell'approccio di modellizzazione e realizzazione. Possibilmente, bisogna avere delle idee precise riguardo agli output. Se si dispone di esempi di soluzioni al problema, in genere è facile descriverlo almeno approssimativamente. Se si vogliono analizzare dati in riferimento a modelli, frequenze e relazioni, l'output desiderato sarà una descrizione di tali relazioni e si cristallizzerà solamente attraverso l'applicazione di un apprendimento automatico non supervisionato. In questo caso sarà più difficile descrivere il comportamento I/O richiesto rispetto al caso dell'apprendimento sulla base di esempi (apprendimento supervisionato).

L'identificazione degli input rilevanti viene definita nell'apprendimento automatico feature engineering. La quantità di features (input) da un lato non deve essere troppo piccola, perché altrimenti non può essere appresa una funzione accettabile. Dall'altro, tale quantità non deve essere neanche troppo grande in quanto in tal caso la qualità della funzione appresa potrebbe essere insoddisfacente e la generazione della funzione potrebbe richiedere risorse eccessive inutilmente. Nel peggiore dei casi una quantità eccessiva di features di input potrebbe impedire l'apprendimento della funzione. La preselezione manuale di features di input resta quindi un fattore essenziale per un impiego dell'apprendimento automatico di successo.

Indicatori e domande per la valutazione della rilevanza dei dati:

- È possibile descrivere in modo chiaro l'output desiderato della funzione? Per rispondere a questa domanda potrebbe essere utile riflettere su come realizzare una strategia di test della funzione appresa. Supponiamo che l'obiettivo sia apprendere suggerimenti di prodotti per clienti; in tal caso bisognerebbe poter accertare quando un suggerimento concreto abbia avuto successo.
- È possibile identificare features di input utili che presupponiamo influenzino l'output? Possiamo ad esempio presupporre che le preferenze di un cliente in acquisti effettuati di vino incideranno anche sulle future scelte di acquisto di vino?

Indicatori e domande per la valutazione della quantità sufficiente di dati:

- Esistono set di dati per i features di input identificati che possono essere utilizzati? Ci sono esempi per il comportamento I/O desiderato? L'apprendimento basato sugli esempi richiede valori sia per features degli input che per gli output desiderati.
- Se non si dispone di questi set di dati, è possibile generarli e aggiornarli? Quali sono le condizioni di legge? Quanto costerà la loro generazione?
- Qualora siano disponibili i set di dati, la loro entità è sufficiente? Per poter rispondere a queste domande attualmente ci sono solo regole approssimative di stima. Ad esempio, occorrono almeno 100-1000 set di dati per ogni valore output; oltre $K \times d \times \log d$ set di dati, dove K è una costante sufficientemente grande, ad esempio 10, e d è il numero di features di input, ecc.

Il numero di set di dati necessari dipende dalla procedura di apprendimento automatico applicata, dalla selezione di dati e dalla loro qualità. I successi sorprendenti di apprendimento automatico degli ultimi decenni si basano in gran parte sulla disponibilità di grandi quantità di dati. Gli attuali procedimenti di apprendimento richiedono sempre più dati. Più set di dati sono disponibili, maggiore è la probabilità di successo. Tuttavia, tanti dati non garantiscono ancora il successo.

Indicatori e domande per la valutazione della qualità sufficiente di dati:

- Come sono stati rilevati i set di dati? Sono stati inseriti in modo manuale o automatizzato? L'esperienza insegna che i dati inseriti manualmente contengono spesso errori. Esistono delle procedure che garantiscono la qualità dei dati e che correggono gli errori nei dati?
- I set di dati sono completi o mancano dei valori?
- Le procedure per il recupero dei dati sono stabili?
- Le osservazioni fornite sui dati sono definite in modo chiaro? La definizione è stabile o ci sono stati cambiamenti?
- I dati coprono in maniera sufficiente tutti i casi possibili? Ad esempio, nell'individuazione di utilizzo improprio di carte di credito si osserveranno molte più transazioni nelle quali la carta di credito è stata utilizzata in modo corretto piuttosto che transazioni nelle quali vi era intenzione di dolo.
- I possibili valori dei features degli input sono ben definiti e memorizzati in simboli o cifre? In alcuni casi i valori sono contenuti in testi (in linguaggio naturale). L'identificazione di valori per features di input da testi può comportare ulteriori errori nel set di dati.

Indicatori e domande per la valutazione della qualità sufficiente della funzione appresa:

- È possibile effettuare un monitoraggio del sistema appreso per riconoscere la qualità degli output? È possibile riconoscere sulla base di tali osservazioni se la funzione appresa deve essere aggiornata? Ad esempio, se è stato sviluppato un sistema di Intelligenza Artificiale basato sull'apprendimento automatico per filtrare delle spam, come si può giudicare la qualità di tale filtro? Come si può capire che il filtro non è più attuale?
- Tale monitoraggio è tecnicamente e giuridicamente possibile? Se nella valutazione di un filtro spam occorre osservare il comportamento dell'utente, allora dovranno essere chiariti anche i presupposti giuridici.
- Si possono tollerare eventuali errori del sistema di apprendimento automatico o neutralizzarli attraverso precise misure? Tale domanda va verificata per le diverse classi di errore. Ad esempio, è tollerabile che un'e-mail degna di essere letta venga contrassegnata come spam? E viceversa, è tollerabile che un'e-mail spam venga classificata come degna di essere letta? Le misure per neutralizzare l'errore potrebbero ad esempio essere che i sistemi offrano solo supporto e che sia l'uomo a prendere la decisione definitiva. Tale procedimento è realistico e ragionevole?

7.2 Vantaggi

Il principale punto di forza dell'approccio di apprendimento automatico è la generazione automatica della funzione da realizzare sulla base di set di dati. Contrariamente al sistema di modellizzazione, in questo caso lo sviluppatore del sistema non deve fornire una descrizione che possa definire tutte le combinazioni di input e output desiderate. Nel caso ideale la funzione desiderata potrà essere generata automaticamente sulla base del comportamento di input e output osservato. Tipicamente, i metodi di apprendimento automatico vengono applicati in quei campi nei quali non è possibile risolvere il problema attraverso una modellizzazione.

Se è stata generata una funzione allora sarà possibile valutare in modo molto efficiente e con un tempo di risposta garantito la funzione a seconda del metodo di apprendimento applicato. Ad esempio, se viene appresa una rete neurale artificiale (ANN) per realizzare la funzione desiderata, sarà possibile prognosticare molto bene il tempo occorrente per le ANN con connessioni acicliche tra i neuroni. Il numero di neuroni è fisso, i dati scorrono senza curve dagli input all'output e la lavorazione può essere parallelizzata.

7.3 Svantaggi

Il punto di forza della produzione automatica della funzione da realizzare è allo stesso tempo il suo maggiore svantaggio. Dato che la funzione può essere generata in modo autonomo, la qualità del procedimento I/O potrà essere stimata per gli input mai osservati solo sulla base dei set di dati presenti. Per questo motivo non è possibile garantire la qualità relativa alla completezza, correttezza o al livello ottimale della soluzione del problema.

Allo stato attuale non è possibile prevedere quale metodo di apprendimento automatico ammetta una generazione soddisfacente di una funzione. Al momento è possibile determinare solo in modo esplorativo quali di questi metodi si prestino particolarmente per l'applicazione concreta e quali parametri di questi metodi siano ottimali per un'applicazione concreta. Anche se una funzione può essere generata automaticamente grazie a un metodo di apprendimento automatico, nella maggior parte dei casi gli esperti formati in tal senso dovranno svolgere lavori preliminari per permetterne l'applicazione e il tuning. Per poter applicare gli ANN occorrerà determinare la struttura della rete neurale. Inoltre, il successo di un approccio di apprendimento automatico dipende in modo significativo dalla quantità e dalla qualità dei dati e della selezione dei features degli input.

A seconda del metodo di apprendimento automatico applicato, per la generazione della funzione sono necessarie ingenti risorse di calcolo. Per tutti gli esempi di training devono essere adattati in base alla struttura di un ANN migliaia di parametri numerici. Tale procedimento di apprendimento deve essere ripetuto per ogni adattamento dell'ANN o della funzione da apprendere.

A seconda dell'approccio di apprendimento automatico utilizzato non si possono fornire spiegazioni relative alla generazione di un output. Ad esempio, gli ANN codificano le conoscenze sulle relazioni I/O in una rete di neuroni e in pesi numerici. Negli ANN mancano quasi sempre simboli interpretabili dall'uomo. Ma esistono anche approcci di apprendimento automatico, come ad esempio la generazione di alberi decisionali, che permettono una spiegazione di un output sulla base di simboli che l'uomo utilizza normalmente per descrivere dei fatti.

Attualmente è difficile integrare conclusioni e calcoli in metodi di apprendimento automatico; tutto ciò è ancora oggetto di intense attività di ricerca.

7.4 Limitazioni dei rischi

Un fattore essenziale per ridurre il rischio è una generazione stabile, definita e possibilmente automatica dei set di dati poi utilizzati per la generazione della funzione. L'utilizzo di banche dati con relazioni ben specificate e valori nel rispetto delle forme normali abituali è un'ottima base per un'applicazione riuscita di apprendimento automatico. I modelli di dati cambiano nel tempo. Quindi, la documentazione dei cambiamenti e un adeguamento ben specificato delle relazioni delle banche dati è un fattore importante per poter utilizzare i dati al fine dell'apprendimento automatico.

Sulla riduzione del rischio incide inoltre la delimitazione precisa del problema. Problemi analoghi che sono già stati risolti con successo sono indice di un rischio basso. Anche il fatto che un problema possa essere risolto da esperti senza conoscenze generali o tecniche approfondite, grazie a misurazioni ben definite ed esperienze, indica un'elevata possibilità di poter applicare con successo l'apprendimento automatico.

Un'altra chiave per un impiego riuscito dell'apprendimento automatico è l'identificazione dei features utili. Un ulteriore fattore che diminuisce il rischio è se l'impresa sa già quali fattori determinano l'output di una funzione da realizzare e quali fattori sono dominanti o secondari.

7.5 Fattori che fanno aumentare o diminuire i costi

Costi del personale nella fase di sviluppo:

Il grado di maturità di un'impresa in riferimento al rilevamento di qualità di set di dati è un fattore di costo determinante. Per quanto concerne la qualità dei dati si suggerisce una stima difensiva. Il controllo sulla qualità e l'elaborazione dei set di dati possono comportare costi di personale rilevanti. Se però si dispone di dati ampi, ben definiti e di qualità garantita che descrivono in modo esemplificativo gli I/O desiderati, ciò ridurrà di molto i costi per l'applicazione dei metodi di apprendimento automatico.

Se con i problemi da risolvere ci si addentra in campi nuovi per l'applicazione dell'apprendimento automatico, potrebbe essere necessario prevedere una fase sperimentale nella quale determinare il metodo di apprendimento automatico da utilizzare. Ne conseguono elevati costi di personale.

Costi di personale per la manutenzione:

Se le variazioni di un problema si rispecchiano nei dati, l'adattamento avverrà attraverso la generazione automatica di una nuova funzione. Ad esempio, se la funzione da realizzare riguarda la previsione di un comportamento del cliente ed esso viene descritto ampiamente attraverso acquisti già effettuati, un comportamento di acquisto modificato potrà essere considerato attraverso l'apprendimento di una funzione adattata. In questo caso i costi del personale per la manutenzione sono modesti.

Se invece i cambiamenti di un problema non sono coperti da set di dati, è probabile che debba essere sviluppata una nuova applicazione di apprendimento automatico. Ad esempio, se è stato sviluppato un sistema di diagnostica per una macchina sulla base di apprendimento automatico e la macchina viene ristrutturata nel corso di modernizzazione, si dovranno osservare i nuovi set di dati e generare una nuova funzione di diagnosi.

Costi di calcolo in fase di sviluppo e manutenzione:

A seconda del metodo di apprendimento automatico applicato, i costi di calcolo per la produzione di una funzione possono essere anche molto elevati. Ciò va assolutamente considerato per poter stimare la fattibilità nell'identificare problemi analoghi. Problemi che sono risolvibili per un'impresa che dispone di vaste risorse di calcolo possono essere praticamente irrisolvibili per un'impresa media a causa degli elevati costi.

Costi di calcolo durante l'attività produttiva:

Se viene applicato l'apprendimento basato su esempi, solitamente i costi per l'applicazione della funzione appresa sono minori di quelli per la generazione della funzione stessa.

Se il modello appreso è il risultato della produzione, i costi per il calcolo durante l'attività produttiva sono simili a quelli durante lo sviluppo; si veda l'esempio dell'apprendimento regolare delle tipologie di clienti. Se l'apprendimento non supervisionato serve per produrre delle regole da applicare poi in produzione, allora l'applicazione di queste regole è molto più economica rispetto alla generazione delle stesse.

Esistono numerose biblioteche software per lo sviluppo di applicazioni di apprendimento automatico, spesso anche disponibili gratuitamente. Anche se sono già stati risolti problemi analoghi in altri comparti o imprese, nella maggior parte dei casi è necessario un adeguamento dell'applicazione di apprendimento automatico sviluppata alla situazione attuale dei dati di un'impresa.

7.6 I compiti dell'impresa per la preparazione dell'analisi tecnica

Per valutare la difficoltà tecnica di una possibile applicazione di apprendimento automatico bisognerebbe fare i seguenti preparativi:

- Definizione più precisa possibile dei dati che si possono utilizzare: se esistono delle banche dati occorre una descrizione precisa dello schema della banca nonché del significato dei valori.
- Valutazione della qualità dei dati: i set di dati sono completi o bisogna preventivare la presenza di errori? Come sono stati rilevati questi dati? È previsto un controllo della loro qualità?
- Quantità dei dati: quanto sono ampi, sia qualitativamente che storicamente, i dati esistenti? Come verranno rilevati i dati in futuro?
- Concretizzazione dei problemi e delle aspettative: quali output ci si attende dalla funzione da apprendere? Quali sono le aspettative in merito all'impiego in produzione della funzione appresa? Esistono indicatori per misurare il successo? Quali qualità dovrà avere l'output? Quali errori della funzione appresa potranno essere tollerati e quali invece no? Esistono dei dati che esemplificano l'output desiderato?
- Identificazione dei features di input: esistono delle conoscenze sulla relazione tra i dati esistenti o possibili nuove fonti di dati e l'output desiderato della funzione da apprendere?

Queste descrizioni sono operazioni preliminari necessarie che possono essere svolte autonomamente in impresa e che sono alla fine necessarie per verificare il possibile impiego dell'apprendimento automatico.

8

Compiti gestionali per introdurre con successo i metodi IA

Questo capitolo vi fornirà:

- prerequisiti organizzativi per introdurre con successo metodi IA
- altri passi per la fase iniziale di applicazione

8.1 Prerequisiti organizzativi

Come per la maggior parte dei progetti innovativi, l'applicazione di metodi di IA al lavoro in azienda può svolgersi con successo solo se sono stati soddisfatti i prerequisiti necessari e si è compiuta una pianificazione attenta tenendo conto dei fattori di rischio e di incertezza. Meno il terreno è conosciuto, meno sono sicure le condizioni ambientali di una spedizione, e quindi tanto più precisa deve essere la pianificazione per assicurarne il successo.

Di norma l'introduzione di metodi di IA riguarda ampi settori di un'impresa. La teoria dell'innovazione, fondata su dati provenienti dal lavoro quotidiano in azienda, ci insegna che sono necessari diversi promotori. Le innovazioni hanno particolare successo quando la direzione aziendale dà assoluta priorità al progetto innovativo, dedicandogli le risorse necessarie. I progetti di IA necessitano però anche delle competenze dei tecnici di un'azienda, che ne conoscono nei dettagli i processi e i procedimenti. Infine, i risultati di un progetto di IA devono essere integrati in azienda. A questo scopo servono persone che conoscono le strutture formali e informali dell'impresa, e che sono ben collegate tra di loro.

Nel caso in cui gli esperti di IA fossero esterni all'azienda, tra gli attori deve svolgersi una comunicazione aperta, valorizzante e tra pari. La direzione aziendale deve risultare convincente nello spiegare che un progetto di IA non costituisce una minaccia, bensì una grande occasione per l'azienda e i suoi dipendenti. Per questo progetto sono necessari un gran numero di dati e competenze che devono dunque essere messi a disposizione.

L'introduzione di metodi di IA risulta più facile se si è già raggiunto un alto grado di digitalizzazione. Per visualizzare il concetto, la realizzazione di un progetto di IA è più facile se l'impresa ha già molti "occhi e orecchie" digitali che rilevano lo stato dell'azienda e se essa ha molte "mani" digitali che ne svolgono i compiti. L'introduzione di metodi di IA può andare di pari passo con l'introduzione di sensori per la raccolta automatica di dati e con l'automatizzazione dei processi per mezzo di robot. Un piano complessivo dettagliato aiuta ad armonizzare i progetti innovativi.

8.2 Passi ulteriori

Quando osserviamo l'intero processo di introduzione di metodi di IA, tipicamente si possono compiere i passi illustrati nella figura 17. La creazione di un portafoglio progetti ha come risultato una grande quantità di possibili progetti di applicazione e ricerca. Questi possibili progetti devono essere valutati secondo i loro costi e la loro utilità, e sulla base di essi occorre decidere quali realizzare. Il risultato dei progetti di ricerca è solitamente una crescita di conoscenze che permette una nuova valutazione del progetto. Idealmente, in seguito al lavoro di ricerca, il progetto può essere classificato come "da attuare"; a questo punto si può svolgere un'analisi dettagliata di costi e benefici.



Figura 17: Analisi del portafoglio progetti

Per tutte queste attività di avvicinamento ai metodi di IA servono conoscenze specifiche. In particolare, bisogna tener conto che, a lungo termine, il successo nell'attuazione dei progetti porta al bisogno di competenze relative al loro adattamento e ulteriore sviluppo.

Come spesso accade, le imprese devono scegliere se acquistare queste competenze necessarie da altre organizzazioni oppure se crearle in autonomia all'interno dell'azienda. A seconda del campo di applicazione si possono anche creare reti che organizzano in modo cooperativo ricerca e impiego comuni.

Se si decide di creare queste competenze in azienda, i progetti di ricerca in cooperazione con università, istituti di alta formazione e di ricerca possono essere uno strumento molto efficace. Il modo migliore di trasferire competenze è lo spostamento di dipendenti. Progetti di ricerca con università, istituti di alta formazione e di ricerca permettono l'acquisizione di personale che dispone sia di competenze aziendali specifiche che di conoscenze sull'IA. Con il passaggio di persone dai progetti di ricerca cooperativi all'impresa si può ottenere una crescita di competenze mirata che porta in azienda le conoscenze desiderate sulle metodologie di IA e sulle loro applicazioni specifiche. Già da decenni le imprese impiegano queste modalità con molto successo al fine di trasferire nuove competenze di IA nei loro reparti operativi.

Per il finanziamento di progetti innovativi vengono messi a disposizione contributi a livello europeo, nazionale e provinciale. Vale la regola generale che, più il progetto prevede ricerche, maggiori sono i contributi concessi. Questi, tuttavia, non sono necessariamente legati alla ricerca. Anche gli sviluppi sperimentali che comportano molti rischi hanno possibilità di ricevere finanziamenti.

9

Riassunto

L'IA viene impiegata in molti campi per aumentare la produttività, migliorare la qualità, accelerare i processi e aumentare la flessibilità. Oltre a ciò, l'IA permette di sviluppare nuovi prodotti e servizi. Per molte aziende è quindi soltanto una questione di tempo prima di doverla impiegare.

Questo manuale espone i principi fondamentali dei metodi IA che attualmente hanno maggiore successo così da permettere una comprensione di base. Grazie a essa i decisori possono rispondere a due domande importanti e fare delle considerazioni: (1) in quali ambiti l'IA può essere applicata ragionevolmente in azienda e (2) quali ostacoli tecnici bisogna aspettarsi di dover superare?

Per aiutare a trovare una risposta alla domanda sulle possibilità di applicazione da un lato abbiamo esposto alcuni esempi di tipici campi di applicazione dell'IA in aree di creazione di valore aggiunto; dall'altro una comprensione di base dei principi dell'IA permette una ricerca creativa di possibilità di applicazione ad alto potenziale.

Per rispondere alla domanda sulle sfide tecniche abbiamo discusso nel dettaglio i prerequisiti all'utilizzo, i punti di forza e di debolezza, nonché i fattori di rischio e di costo dei principali metodi IA. Sulla base di queste valutazioni si può creare un portafoglio progetti che possa servire all'identificazione dei progetti IA più promettenti. Per la realizzazione di progetti di IA abbiamo esposto i passi successivi ed esposto i compiti da svolgere all'interno dell'azienda per preparare l'applicazione di un progetto di IA.

L'introduzione di metodi IA nelle aziende rappresenta un progetto innovativo che può essere introdotto con una pianificazione attenta. Questa guida fornisce gli strumenti fondamentali per il lavoro di pianificazione e dà quindi un contributo allo sviluppo delle aziende grazie all'IA.

Lo sviluppo storico dell'IA, in particolare la sua percezione pubblica, ha sempre avuto un andamento ciclico, e abbiamo tutte le ragioni di pensare che questa dinamica caratterizzerà anche i suoi sviluppi futuri. Per raggiungere un'IA generale, ovvero la completa automatizzazione delle abilità cognitive dell'essere umano, servono ancora molti progressi scientifici. Dal punto di vista pratico, l'IA deve essere vista come una disciplina scientifica che presumibilmente continuerà a fornire strumenti che sortiranno effetti significativi sulla società e sulle imprese. Per questo motivo le aziende innovative sono tenute a osservare con regolarità gli sviluppi dell'IA.



Camera di commercio di Bolzano
PID - Impresa digitale
Via Alto Adige 60
I - 39100 Bolzano
Tel. +39 0471 945 691
digital@camcom.bz.it
www.camcom.bz.it

© 2022 Camera di commercio, industria,
artigianato, turismo e agricoltura di Bolzano