

GLI E-BOOKS DI SECURINDEX

APRILE 2016

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE
FREDIANO DI CARLO

INTELLIGENZA ARTIFICIALE

– Abstract –

In questi ultimi mesi ho notato l'incremento di programmi televisivi, articoli, discussioni aventi come argomento l'Intelligenza Artificiale (AI), segno tangibile di numerose attività in corso in questo settore.

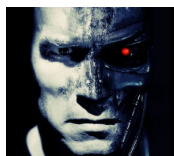
Alcuni esempi da Google, colosso dell'informatica tra i più attivi in questo settore:

- [Google, l'intelligenza artificiale per aumentare la produttività in ufficio](#) – 10/11/2015
- [TensorFlow: l'intelligenza artificiale di Google ora è "open"](#) – 11/11/2015
- [Intelligenza artificiale: il chatbot di Google](#) – 23/12/2015
- [L'intelligenza artificiale di Google supera l'uomo: battuto il campione europeo di Go](#) – 28/01/2016
- [Intelligenza artificiale nello smartphone, Google ci prova](#) – 28/01/2016

Altri, la cui visione è certamente pessimistica:

- [\(World Economic Forum\) Five Million Jobs by 2020: the Real Challenge of the Fourth Industrial Revolution](#) – 18/01/2016
- [When machines can do any job, what will humans do?](#) – 13/02/2016
- [Robots: Destroying jobs, our economy, and possibly the world](#) – 14/02/2015
- [L'intelligenza artificiale sottrarrà il lavoro agli uomini](#) – 19/02/2016

Come accade spesso di fronte alle novità, le reazioni sono contrastanti e si è già costituita la schiera degli estremisti che avversano tali tecnologie, alcuni perché convinti che le applicazioni ruberanno lavoro all'uomo, altri perché condizionati dalla saga di Terminator. Evidentemente in entrambi i suddetti casi l'AI è associata ai robot, macchine senzienti che potranno fare dei lavori oggi svolti dagli uomini, ma ancor più macchine che potranno prendere il sopravvento sull'uomo stesso.



Lungi dal volermi addentrare in una discussione sul futuro dell'Umanità, che sarà solo il futuro a svelarci come realmente sarà e cosa ci riserverà, sono convinto che la conoscenza dei principi alla base della cosiddetta AI, le potenzialità offerte dall'uso di tali tecniche e, soprattutto, la grande quantità di applicazioni esistenti già da diverso tempo, possano contribuire a fare un minimo di chiarezza ed evitare un approccio a priori avverso al loro impiego.

Con il presente articolo cercherò quindi di far comprendere cosa si intenda effettivamente con AI, quali sono i numerosi campi di applicazione e quali sono le tecniche più comunemente utilizzate, soffermandomi maggiormente su una di esse: quella che cerca di imitare il cervello umano.

Cos'è l'Intelligenza Artificiale

Wikipedia la definisce *"l'abilità di un computer di svolgere funzioni e ragionamenti tipici della mente umana"*; non convengo molto su tale definizione, troppo generica e vasta, proprio per tale motivo può comprendere anche 'funzioni e ragionamenti' che nulla hanno a che vedere con l'Intelligenza. Basti pensare al fatto che i calcolatori sono nati per fare calcoli, più velocemente di quanto non sia in grado di fare la mente umana, ma pur sempre calcoli, che non possono essere certamente considerati come manifestazione d'intelligenza, si tratta solo dell'applicazione di una serie di regole.

Naturalmente i computer hanno subito notevoli evoluzioni tecnologiche tali da essere in grado di eseguire calcoli sempre più complessi in tempi sempre inferiori in modo da riuscire a fare quello che noi oggi conosciamo, ma ancora non è sufficiente per poterla considerare AI.

La capacità di gestire con facilità enormi mole di dati, sui quali eseguire in tempi brevi complesse elaborazioni statistiche, permette oggi ai computer di avere capacità deduttive e quindi scegliere in completa autonomia. Ci stiamo incamminando verso la giusta direzione ma ancora non possiamo parlare di AI, le suddette scelte sono frutto di calcoli statistici o altri tipi di formule, non è vera intelligenza.

Si è soliti far risalire l'origine della definizione di AI al famoso test di Turing, pubblicato nel 1950 sulla rivista Mind (nome decisamente appropriato all'argomento). Il succo del test (la formulazione originale è molto articolata) prevede un uomo chiuso in una stanza che scambia messaggi a suo piacimento con altri due soggetti, a loro volta chiusi in un'altra stanza; se l'uomo che conduce il test non è in grado di distinguere se e quale dei due è una macchina, allora ci troviamo di fronte a una macchina intelligente poiché non è distinguibile dall'uomo. Turing definisce nell'articolo una macchina *intelligente* se è in grado di pensare, ossia capace di concatenare idee e di esprimerle.

Il mio concetto di AI è il seguente: se una macchina, facendo uso esclusivamente della propria esperienza e del ragionamento è in grado di predire dei risultati allora può essere considerata intelligente.

Il concetto, ripeto del tutto personale, è ovviamente molto più attuale di quanto non potesse esprimere Turing oltre 60 anni fa, essendo derivato dalle metodologie utilizzate nel presente che, semplificate al massimo, consistono in:

- Far apprendere alla macchina una serie di concetti di base (esperienza)
- Dotare la macchina di specifici algoritmi da utilizzare, gli uni o gli altri, in relazione al tipo di decisione da prendere (ragionamento)
- La macchina sarà quindi in grado di predire il risultato dei test cui viene sottoposta.

Dal primo dei suddetti punti deriva la definizione di una delle aree fondamentali su cui è basata l'AI, nota come Machine Learning (ML), apprendimento delle macchine, che, sempre da Wikipedia, "si occupa della realizzazione di sistemi e algoritmi che si basano su osservazioni come dati per la sintesi di nuova conoscenza".

Vediamo ora un esempio concreto sull'utilizzo di tali tecniche implementato dal Gruppo di Ricerca dell'AI di Microsoft presente sul sito [What Dog](#) (Quale Cane). Non lasciatevi trarre in inganno dall'argomento apparentemente giocoso, vi garantisco che è una cosa seria.

Sul sito sono presenti diverse foto di cani di aspetto e taglia differenti. Ciascuno di essi è categorizzato in funzione delle proprie caratteristiche fisiche e del proprio comportamento tipico. Tale categorizzazione può essere verificata selezionando una delle foto presenti e cliccando sulla stessa; a lato un esempio basato sul Dalmata.



Dalmatian

High energy, nerry, learns at leisurely pace

Sotto le foto dei cani si trova un bottone che consente di caricare un'immagine a piacere che deve contenere il volto di una persona (se la foto non contiene alcun volto distinguibile appare la dicitura "non è stato trovato alcun cane").

Il software analizza la foto, identifica il volto e ne estrae le caratteristiche relative alla fattezze e all'espressione assunta, a questo punto 'predice' qual è il cane che meglio approssima tali caratteristiche. Di seguito un paio di esempi (senza alcuna offesa verso i soggetti). Vi invito a fare delle prove, vi convincerete che il risultato scelto dal software è il più adeguato rispetto ai campioni di cani presenti.



Notate che, anche con foto differenti dello stesso soggetto, purché l'espressione del volto non sia molto differente, il cane identificato è lo stesso; questo è un indicatore del corretto funzionamento del "ragionamento" fatto dal software.

Campi di applicazione dell'AI

È sufficiente fare una ricerca su Internet dei termini “Artificial Intelligence” per verificare che i campi di applicazione sono in pratica infiniti. Se poi si vogliono verificare specifici settori è sufficiente aggiungere la definizione del settore alla ricerca; per esempio “Medicine Artificial Intelligence” ha prodotto 309 risultati, a dimostrazione del diffuso utilizzo di tali tecniche nel settore medico.

Un esempio particolare, significativo sulla vastità dei campi d'applicazione, è riportato nella pubblicazione di due ricercatori Indiani della Cornell University intitolata [“DESIGN AND DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKING \(ANN\) SYSTEM USING SIGMOID ACTIVATION FUNCTION TO PREDICT ANNUAL RICE PRODUCTION IN TAMILNADU”](#) che illustra come, con tali tecniche, sia possibile predire la produzione di riso in una regione dell'India. Vi invito a leggere l'articolo, nella prima parte, spiega in maniera chiara e dettagliata la tecnica che sarà approfondita nell'ultima parte dell'articolo, la cosiddetta Rete Neurale Artificiale (la simulazione del cervello umano).

Un altro gruppo di esempi li troviamo sul sito di Google Research, selezionando la Sezione “Machine Intelligence” (tutte le sezioni sono altrettanto interessanti) si accede all'area specifica dove sono presenti 473 pubblicazioni relative alle attività, in corso e completate, dei ricercatori Google che si occupano di questo settore.

Scorrendo gli articoli si scopre che Google utilizza tali tecniche da oltre dieci anni producendo risultati a noi ben noti (*che finora non hanno fatto paura a nessuno*):

- Una pubblicazione del 2005 che illustra una tecnica per rilevare le emozioni dal parlato
- A partire sempre dal 2005 un elevato numero di pubblicazioni relative all'apprendimento (delle macchine) del significato del linguaggio scritto indipendentemente dai termini utilizzati, tecnica da anni ampiamente utilizzata nel motore di ricerca che consente di formulare le ricerche utilizzando quello che è stato definito “linguaggio naturale”; tutti ne conosciamo l'efficienza
- Dal 2008 lo stesso che al punto precedente ma riferito al linguaggio parlato; chi utilizza smartphone Android conosce la qualità raggiunta dall'assistente vocale di Google
- Dal 2009 diverse pubblicazioni relative a tecniche per classificare e quindi poter riconoscere brani musicali; chi non ha mai provato a identificare un brano cantandolo o fischiettandolo a Shazam
- Sempre dal 2009 diverse pubblicazioni dedicate a tecniche per estrarre informazioni di vario genere dai filmati
- ...

Tecniche Utilizzate nell'AI

Esistono diverse tecniche utilizzate in questo campo; per averne un'idea è sufficiente visitare il sito di OpenCV, tra le più famose e diffuse librerie open source di Computer Vision; alla pagina dedicata al [Machine Learning](#) si trovano 10 tecniche primarie ed alcune secondarie; troppe per essere illustrate tutte, ci limiteremo pertanto alle tre probabilmente più usate, fornendo una veloce illustrazione delle prime due e un approfondimento della terza che, come anticipato, è la tecnica che cerca di imitare il cervello umano:

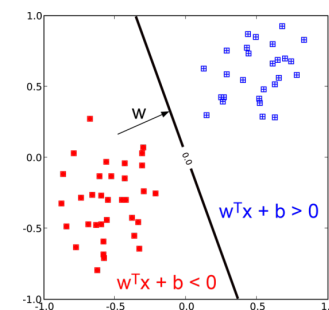
1. Support Vector Machine (SVM)
2. Kernel Nearest Neighbors (KNN)
3. Artificial Neural Network (ANN)

1. Support Vector Machine (SVM)

Questa tecnica viene utilizzata quando occorre decidere se un soggetto analizzato appartiene o no a una categoria di nostro interesse; un tipico esempio pratico è rappresentato da un'immagine contenente una figura geometrica da verificare se si tratti o no della targa di un veicolo.

Supponiamo che i parametri che caratterizzano l'oggetto da identificare (la targa) siano solo 2, quindi rappresentabili su un piano, l'algoritmo SVM ci permette di calcolare l'equazione di una curva che divide il suddetto piano in due semipiani, l'uno corrispondente alla porzione dove si trovano gli oggetti da identificare, l'altro contenente oggetti diversi (non targhe).

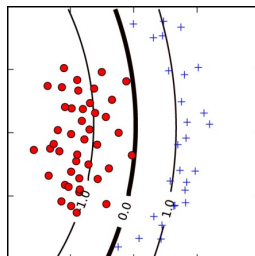
Una rappresentazione grafica del concetto è illustrata di seguito:



Dove l'equazione $w^T x + b = 0$ divide il piano tra la zona delle targhe (blu) e quella che contiene altri oggetti (rosso).

Per ciascun oggetto da verificare, sarà quindi sufficiente determinare i parametri w^T e b , utilizzando gli specifici algoritmi di questa tecnica, per determinare in quale parte del piano esso si posiziona; nel nostro esempio se si tratta o no di una targa.

È doveroso porre l'accento che l'illustrazione d'esempio rappresenta la condizione più semplice possibile, definita classificazione lineare. La curva può anche non essere una semplice retta (vedi esempio a lato), quindi la classificazione viene definita non lineare. In genere, inoltre, i parametri che caratterizzano l'oggetto sono ben più di due; dunque il piano diventa uno spazio n-dimensionale e la curva un iperpiano che lo divide comunque in due parti (SI / NO).

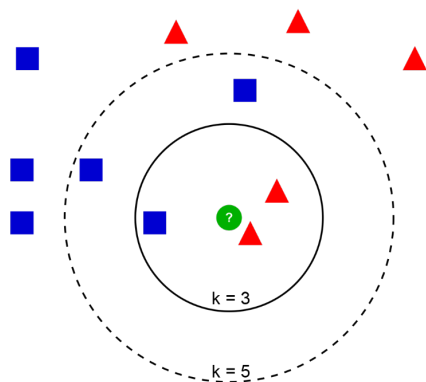


2. Kernel Nearest Neighbors (KNN)

Questa tecnica viene utilizzata quando occorre decidere a quale categoria appartiene il soggetto analizzato, a partire da un determinato gruppo di categorie composte ciascuna da più campioni.

Essa deriva dal metodo statistico definito di massima verosimiglianza e consiste nello stabilire, in funzione del parametro K, la categoria di appartenenza dell'elemento in esame in funzione della quantità di campioni di ciascuna categoria che risultano più 'vicini' a quello in esame.

Una rappresentazione grafica del concetto è illustrata di seguito:



L'elemento in esame è rappresentato dal pallino verde, esso sarà confrontato con due classi di campioni, quella rossa con i triangoli e l'altra blu con i quadrati.

Se $k = 3$ (la scelta dipende da diversi fattori), ossia il confronto deve essere fatto con i 3 campioni più vicini, allora la classe risultante sarà quella rossa (due triangoli rossi contro un quadrato blu), al contrario, se $k = 5$ la classe risultante sarà quella blu (tre quadrati blu contro due triangoli rossi).

Negli USA questa tecnica è frequentemente utilizzata per la predizione dei tornado: i campioni sono costruiti a partire da diversi parametri meteorologici, nell'esempio in figura i triangoli rossi corrispondono a tornado, quelli blu a semplici giornate di maltempo, il cerchio verde la giornata in esame.

3. Artificial Neural Network (ANN)

Questa tecnica viene utilizzata quando occorre stabilire una graduatoria di probabilità tra diversi campioni rispetto al soggetto analizzato.

Due tipici esempi pratici, a tutti ben noti, sono rappresentati da:

- Riconoscimento dei caratteri: l'elemento in esame è l'immagine di un carattere (scritto, di una targa, ecc.), il risultato la probabilità di ciascuno dei caratteri che corrispondano proprio a quello in esame
- Riconoscimento di comandi vocali: l'elemento in esame è la rappresentazione grafica del comando pronunciato (curva audio), il risultato la probabilità di ciascuno dei comandi utilizzabili

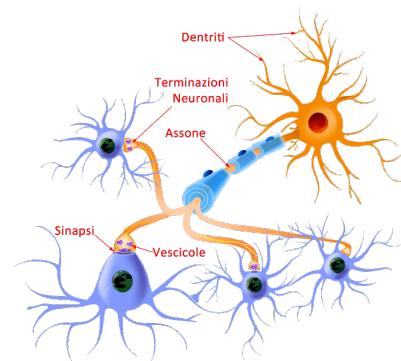
In entrambe i casi il risultato più semplice consiste nell'assumere che l'elemento in esame corrisponda al campione con la probabilità più alta.

Questa tecnica, definita Rete Neurale Artificiale, è quella che si prefigge l'obiettivo di simulare il cervello umano. Come anticipato, in questo caso l'illustrazione sarà più dettagliata delle precedenti.

Cenni Storici di Neurobiologia

La scoperta del neurone, la cella neurale del cervello, risale al 1836, la sua struttura è illustrata a lato.

Le osservazioni portarono a determinare che il sistema nervoso di un organismo vivente è una struttura composta di diversi elementi che lavorano parallelamente e in connessione gli uni con gli altri. Nel successivo 1897 fu introdotto il concetto di



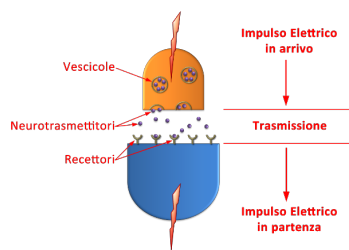
Sinapsi, che rappresenta il punto di connessione tra i neuroni.

Nel 1906 il Nobel per la Medicina fu assegnato a Camillo Golgi e Santiago Ramon y Cayal "in riconoscimento del loro lavoro sulla struttura del sistema nervoso".

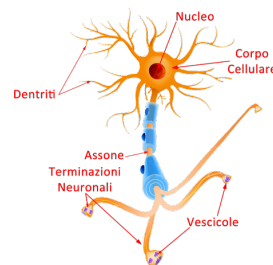
Uno degli aspetti emerso da tale lavoro è che il neurone ha diversi ingressi, i *dentrìti*, e una sola uscita, l'*assone*. Tale uscita può assumere due soli stati possibili: *eccitata* o *non eccitata*. I segnali (in

ingresso) provenienti dagli altri neuroni sono sommati tra loro e confrontati con una soglia per determinare se il neurone è *eccitato* (*fired* in inglese). I segnali in ingresso sono soggetti a più o meno attenuazione a livello di *sinapsi*, una sorta di accoppiamento più o meno efficiente.

Il meccanismo di scambio dei segnali è rappresentato nella figura seguente, che illustra una *sinapsi* e relativo schema di propagazione degli impulsi elettrici:



Dal neurone in uscita si staccano degli elementi, definiti *neurotrasmettitori*, una parte dei quali sono raccolti dall'ingresso del neurone accoppiato tramite gli elementi definiti *recettori*, consentendo in tal modo la propagazione dell'impulso elettrico.



Nel 1949 Donald Hebb pubblicò uno studio nel quale affermava "È possibile assumere che la persistenza, o la ripetizione, di un'attività stimolatoria tende a indurre cambiamenti cellulari duraturi che ne incrementano la stabilità ... Quando un assone di una cella A è sufficientemente vicino a una cella B da poterla eccitare, e ripetitivamente o persistentemente contribuisce all'eccitazione della stessa, avviene un processo di crescita, o cambiamento metabolico, in una o entrambe le celle, tale che l'efficienza della cella A nell'eccitare la cella B ne risulta accresciuta".

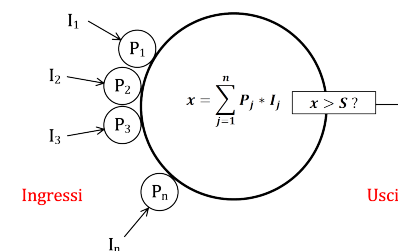
In pratica la *sinapsi* coinvolta diminuisce la propria resistenza e, dato che il fenomeno si manifesta in condizione di persistenza o di ripetizione, e non per stimolazioni occasionali, la causa viene attribuita all'*apprendimento*. Questo è il concetto alla base della *memoria associativa*.

In sintesi:

- Ciascun neurone riceve stimoli (*segnali*) da un elevato numero di altri neuroni che ne possono causare l'eccitazione o meno, tale stato viene a sua volta trasmesso sull'unica uscita disponibile
- Il ripetersi di una data condizione in ingresso induce un incremento della stabilità della condizione risultante della cellula, ossia la cellula è in grado di apprendere tale condizione e di riprodurre più facilmente lo stesso stato in uscita.

Neurone Artificiale

Nel 1943 fu introdotta la prima rappresentazione matematica del neurone, definita neurone artificiale, rappresentata nella figura seguente:



Lo schema di funzionamento è molto semplice: i segnali in ingresso I possono assumere i soli valori $+1$ e -1 , il neurone li somma attribuendo a ciascuno di essi un proprio peso P_j , se il risultato è superiore a una data soglia S l'uscita sarà pari a $+1$, in caso contrario -1 .

Per quanto visto in precedenza, il peso P rappresenta la resistenza che si manifesta a livello di sinapsi e che diminuisce con l'apprendimento, mentre la soglia S un meccanismo interno della cellula che viene definito *Funzione di Trasferimento*.

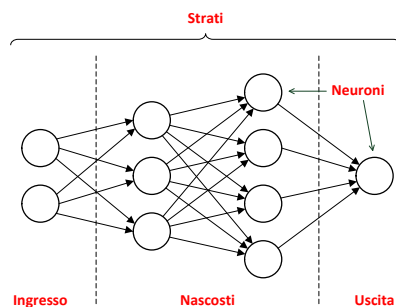
Rete Neurale Artificiale

La potenza dei neuroni nel cervello umano deriva dal comportamento collettivo che li vede tutti interconnessi tra loro a formare una rete. Essa mette in atto un processo di *evoluzione*: ciascun neurone valuta in continuazione la propria uscita in funzione degli ingressi, calcolandone la somma pesata e comparandola con la propria soglia, per decidere se eccitarsi o no. Si tratta ovviamente di un fenomeno parallelo molto complesso le cui caratteristiche non possono essere equiparate al semplice comportamento messo in atto da un singolo neurone, pertanto per descrivere il comportamento complessivo, definito Rete Neurale Artificiale (in letteratura ANN = Artificial Neural Network), si deve ricorrere a un modello più articolato.

Percettrone

Nel 1957 Franck Rosemblat, dei Laboratory Cornell Aeronautical, introdusse il concetto di *Percettrone* (*Perceptron*), studiandone il comportamento con un IBM 704 (il primo computer in grado di effettuare calcoli in virgola mobile).

Esso rappresenta una semplice rete neurale composta da uno strato (layer) di *ingresso*, uno di *uscita*, e uno o più strati intermedi definiti *nascosti*. Ogni strato può essere composto da uno o più neuroni e ciascun neurone di uno strato è interconnesso con tutti gli altri dello strato successivo; lo schema di principio è il seguente:



Il principio di funzionamento è semplice: quando i neuroni dello strato di ingresso assumono ciascuno un determinato valore la rete evolve, ossia attua un meccanismo di propagazione:

- ogni neurone, con il metodo visto in precedenza, calcola il proprio valore di uscita
- il processo si ripete strato dopo strato fino a quello di uscita.

L'intero processo, come nel caso del cervello umano, si ripete in continuazione, ricalcolando tutti i valori fino a quando raggiunge un livello stabile, ossia l'uscita assume sempre lo stesso valore.

Teoria del Campo Medio

Come si attua sul Percettrone il processo di apprendimento che porta a uno stato stabile ?

Per rispondere a questo quesito nel 1986 John J. Hopfield e David W. Tank formularono il modello matematico del Percettrone (sul quale sorvoleremo) pubblicandolo sulla rivista *Science* con il titolo "[Computing with Neural Circuits: A Model](#)". Esso è basato su una teoria probabilistica chiamata Teoria del Campo Medio (in letteratura definita MFT, *Mean Field Theory*), a sua volta basata sugli studi pubblicati nel 1907 da Pierre Curie e Pierre Weiss ("*L'ipotesi del campo molecolare e le proprietà ferromagnetiche*").

In pratica essi ipotizzarono che il valore in *input* e *output* del neurone, invece che valere solo ± 1 , potesse assumere tutti i valori compresi tra -1 e +1, consentendo ciò di utilizzare per il Percettrone le stesse formule della *Funzione Energia*, formulate dallo stesso Hopfield nel 1982, che descrivono statisticamente il comportamento di un campo energetico che, com'era stato più volte osservato, tende sempre a portarsi in una condizione di stabilità corrispondente a un minimo di energia⁽¹⁾.

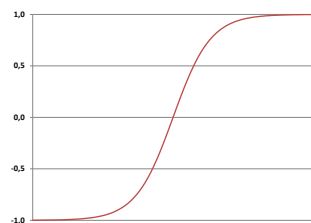
Due aspetti importanti della teoria applicati al percettrone:

- Durante il periodo di *apprendimento* (di seguito vedremo in cosa consiste) la rete, come detto, calcola continuamente il valore di *output* a partire da quelli di *input*, per ogni ciclo si stimano i valori dei *pesi* da associare agli *input* che più velocemente portano alla condizione di stabilità, tali valori sono utilizzati per il ciclo successivo. Ciò fa in modo che la condizione di stabilità sia raggiunta nel minor tempo e con la maggior accuratezza possibile. Questo meccanismo è definito *retro-propagazione* (*back-propagation*) dell'errore.
- La Funzione di Trasferimento, ovvero la Soglia, più utilizzata che consente di far assumere al neurone tutti i valori compresi tra -1 e +1 è la *Tangente Iperbolica* (*tanh*), la cui formula è:

$$S(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

e la rappresentazione grafica della stessa:

¹ Questo comportamento in fisica è noto come il "Principio di Minima Azione", responsabile in natura di tanti fenomeni della vita quotidiana, tra i quali quello che fa sì che, in assenza di perturbazioni, la superficie di un liquido in un contenitore, quale esso sia, bicchiere o lago, si dispone in modo uniforme (piatta), stato questo che corrisponde proprio alla minor energia possibile.



Apprendimento

Con il termine *apprendimento* si intende un periodo di stimolazione continua della rete, definito *allenamento (training)* utile alla determinazione dei *pesi* da utilizzare, per ciascun neurone, tali da determinare il valore di *output* più appropriato.

Trattandosi di calcoli statistici è doveroso sottolineare che tale *output* non rappresenterà mai una “certezza” del fenomeno da simulare, ma solo una *probabilità* che il valore ottenuto sia quello corretto, quindi la suddetta definizione “più appropriato” va intesa come “più attendibile”.

Ciò implica, come sempre in Statistica, che abbinato a una data probabilità p esiste sempre un corrispondente errore e , che ne rappresenta il complemento a 1 ($e = 1 - p$); più banalmente in termini percentuali, se la nostra probabilità è pari al 97%, significa che è comunque presente un errore pari al 3%.

È facilmente intuibile, senza ricorrere a formulazioni matematiche, che la stima dell'errore accettabile determina la durata del periodo di apprendimento, ossia la quantità di cicli di stimolazione, definite *epoche*, che devono essere effettuati. È altrettanto doveroso sottolineare che non si potrà mai raggiungere il 100% di accuratezza (*errore* = 0), si può al massimo stabilire quante cifre decimali siano appropriate; dunque anche le macchine, come l'uomo, non sono perfette.

Tornando al concetto di apprendimento, quali dati devono essere utilizzati per effettuarlo? la risposta è concettualmente semplice: si tratta di dati legati al fenomeno da simulare che ne rappresentano, quanto più possibile, il comportamento. Essi vengono definiti *dati caratteristici* o, più semplicemente, *caratteristiche* (in inglese *features*).

Per fare un esempio, nel caso volessimo implementare un riconoscimento di caratteri scritti a mano (in letteratura *Optical Characters Recognition, OCR*) i dati caratteristici corrispondono alle immagini dei caratteri stessi. Poiché ognuno ha la propria grafia, oltre che una stessa persona può scrivere le lettere in modo diverso in tempi diversi, quanti più campioni di uno stesso carattere facciamo *apprendere* alla rete, tanto maggiore sarà la probabilità che in seguito la stessa sia in grado di riconoscerli autonomamente.

Previsioni

Quali sono i risultati prodotti da una Rete Neurale Artificiale?

La risposta concettualmente è semplice: la probabilità che l'elemento sottoposto a verifica sia quello esatto. Per rimanere all'esempio dei caratteri, sottoponendo alla rete l'immagine di un carattere “F”, il risultato è dato dalla probabilità che si tratti proprio di tale carattere.

Nella pratica, in genere, il processo è solo leggermente più complesso. Per descriverlo occorre introdurre il concetto di *Classe* dei campioni da sottoporre a test: la classe semplicemente rappresenta la varietà con cui il fenomeno di cui ci occupiamo si può manifestare e, di conseguenza, il numero di risultati prodotti.

Se il fenomeno è di tipo binario, ossia ha due sole alternative (Sì/No, Vero/Falso, 1/0, ecc.), allora la *Classe* è composta da un solo elemento, poiché come risultato, definito *Previsione* (proprio perché si tratta di un risultato probabilistico) è sufficiente un solo valore: se tale valore è superiore al 50% allora il fenomeno sarà Sì, Vero, ecc., in caso contrario sarà No, Falso, ecc.

Nel caso dei caratteri la situazione è diversa, omettendo i segni d'interpunzione e considerando solo le lettere maiuscole, le alternative sono 36 (10 cifre + 26 lettere). In questo caso la *Classe* sarà composta da 36 elementi, e altrettanti saranno i risultati, ciascuno dei quali legato alla probabilità dello specifico carattere. In pratica sottoponendo l'immagine del carattere “F” alla rete essa produrrà 36 numeri, il valore maggiore dei quali rappresenta il carattere più probabile. Se questo corrisponde al 16° (supposto che l'ordine sia prima le 10 cifre e poi i 26 caratteri) allora si tratta della lettera “F”, altrimenti di un altro carattere.

È facilmente intuibile che tentando di interpretare caratteri scritti con pessima grafia i risultati possono facilmente non essere corretti poiché la rete, come può accadere a noi stessi, può “confondere” un carattere per un altro (supponiamo di fargli analizzare la canonica “ricetta medica” ...). Lo stesso può anche valere per caratteri scritti in stampatello le cui immagini non siano di buona qualità, si pensi, per esempio ai due caratteri “0” (zero) e “O” (o di Otranto). È questo il motivo per cui nelle targhe Italiane non si utilizzano i caratteri “I” (Italia, confondibile con “1”), “O” (Otranto), “Q” (Quasi Otranto), e “V” (Venezia, confondibile con “U” Udine), limitando quindi la Classe a 32 campioni (10 cifre + 22 lettere).

Un'ultima cosa importante: i valori delle previsioni non rappresentano direttamente la probabilità dello specifico elemento della *Classe* poiché, come visto in precedenza, vanno da -1 a +1 mentre la probabilità può assumere valori da 0 a +1; in entrambe i casi comunque il più probabile è quello di valore maggiore.

Stima dell'Accuratezza

Come fare la stima dell'accuratezza di una rete già allenata ? ossia, come determinare quanto siano precise le risposte fornite ? Inutile sottolineare l'importanza di questo parametro; se l'accuratezza è bassa i risultati sono errati.

Esistono diversi metodi, matematicamente più o meno complessi, di seguito quello più semplice e più facile da mettere in atto.

Assunto che si disponga di una rete già allenata, la si sottopone alla previsione di un certo numero di campioni di immagini di caratteri. Le condizioni da rispettare sono le seguenti:

- Il campione di test deve essere differente da quello utilizzato per la fase di training altrimenti i risultati NON sono attendibili. È facilmente intuibile che se sottoponiamo alla rete dei caratteri che già "ha visto" (durante l'apprendimento) li "riconoscerà" più facilmente
- Devono ovviamente essere presenti immagini di tutti i caratteri da riconoscere, altrimenti i risultati non saranno completi
- Non ha importanza se il numero di immagini varia da carattere a carattere, per calcolare il risultato finale si utilizza una media pesata, dove il peso è rappresentato proprio dal numero di campioni di ciascun carattere
- Infine, ovvio ma doveroso, per la famosa "Legge dei Grandi Numeri", alla base di qualsiasi statistica, tanto maggiore è il numero di campioni quanto maggiore sarà l'attendibilità del risultato (una sorta di accuratezza dell'accuratezza)

La procedura da utilizzare è la seguente:

- Per ogni immagine sottoposta a test, di cui deve essere noto il carattere che rappresenta, si verifica se la predizione indica il carattere esatto, se ciò è vero si incrementa un contatore (numero di successi) per il singolo carattere
- Si ripete tale operazione per tutti i caratteri del campione di test
- Al completamento, per ciascun, carattere si disporrà del relativo numero di successi, dividendo tale valore per il numero di file dello specifico carattere si otterrà la media di successi dei vari caratteri. Tali valori sono già significativi poiché forniscono l'indicazione di quali caratteri la rete fa "più fatica" a riconoscere, si può utilizzare tale informazione per migliorare la resa complessiva ripetendo il training con un numero maggiore di tali caratteri
- Si sommano quindi tutti i risultati ottenuti dividendo la somma per il numero totale di immagini analizzate, il risultato, che corrisponde alla media pesata dei risultati dei singoli caratteri, rappresenta l'accuratezza complessiva della rete

Se l'accuratezza risultante non è soddisfacente si dovrà ripetere l'apprendimento con un numero maggiore di campioni.

Nota importante: se facciamo in modo che ogni volta che la rete analizza un nuovo elemento, questo venga sommato ai campioni già appresi, ripetendo il processo di apprendimento, la rete continuerà sempre più ad apprendere e quindi fornire risposte sempre più attendibili; questo è il concetto alla base dell'autoapprendimento delle macchine.

Esempio Pratico

Vediamo ora un esempio pratico dell'uso di questa tecnica: il riconoscimento dei caratteri di una targa.



Utilizzando altre tecniche di AI, per esempio la suddetta SVM, si riesce a identificare la targa presente nell'immagine.

ED 126YT

A questa immagine si applica una funzione matematica in grado di rilevare il contorno degli oggetti.

ED 126YT

A questo punto, ripetendo l'operazione per ciascuno dei contorni identificati, si calcola il rettangolo che contiene al suo interno lo specifico contorno.

ED 126YT

Estraendo quindi il contenuto del rettangolo siamo riusciti a isolare i caratteri che compongono la targa. L'immagine di ciascuno dei caratteri rappresenta il soggetto da analizzare rispetto a una popolazione di 32 campioni (10 cifre + 22 lettere).

6

Fornendo l'immagine dei caratteri alla rete ANN questa produrrà 32 risultati, legati alla probabilità che lo specifico campione coincida con l'immagine di riferimento.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
-0,0029	-0,0083	-0,0200	-0,0400	-0,0700	-0,1000	-0,1400	-0,1700	-0,2000	-0,2300	-0,2600	-0,2900	-0,3200	-0,3500	-0,3800	-0,4100	-0,4400	-0,4700	-0,5000	-0,5300	-0,5600	-0,5900	-0,6200	-0,6500	-0,6800	-0,7100	-0,7400	-0,7700	-0,8000	-0,8300	-0,8600	-0,8900	-0,9200	-0,9500		

6	7	8
5	6	7
0,0146	0,9250	-0,0145

Le tre righe della tabella rappresentano rispettivamente:

- Il numero progressivo del carattere (es. 16 = 'F')
- Il carattere
- La probabilità che si tratti dello specifico carattere (calcolata da -1 a +1, visto che deriva dalla curva vista in precedenza)

Nell'esempio precedente (reale) il valore più alto, pari a 0,9250, corrisponde proprio al carattere '6'. L'intero processo produce il seguente risultato.

E	D	1	2	6	Y	T
E	D	1	2	6	Y	T
0,9927	0,7920	0,9852	0,9835	0,9250	0,8501	0,8456

Ricapitolando: sottoponiamo a una macchina, alla quale in precedenza abbiamo 'mostrato' un elevato numero di caratteri, l'immagine di un carattere e questa è in grado di predire a quale carattere essa corrisponde: questa è Intelligenza Artificiale.