

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE
"il perceptron"

Simone Casale Brunet - casalebrunet[at]gmail[dot]com

giugno 2005

Indice

Prefazione	ii
Ringraziamenti	iv
Appunti introduttivi	v
1 Analisi storica e filosofica	1
1.1 La nascita dell'IA	1
1.2 Il paradigma simbolico	2
1.3 Critica al paradigma simbolico	2
2 Reti neurali biologiche	5
2.1 Il sistema nervoso ed il cervello	5
2.2 Gli impulsi nervosi	7
2.3 Le sinapsi ed i neurotrasmettitori	9
2.4 Il comportamento del neurone	10
3 Reti neurali artificiali	13
3.1 Il neurone artificiale	13
3.2 Il perceptron	15
A Funzione Θ di Heavyside	19

Prefazione

Un giorno le macchine riusciranno a risolvere tutti i problemi, ma mai nessuna di esse potrà porne uno (A. Einstein)

Quando i miei amici mi chiedevano che cosa avessi pensato come argomento della tesina di maturità rispondevo loro che mi sarebbe piaciuto parlare dell'intelligenza artificiale; mi divertivo ad attendere una richiesta di spiegazioni su che cosa fosse l'intelligenza artificiale, consapevole che la mia risposta non sarebbe stata né avrebbe potuto essere chiarificatoria: «L'intelligenza artificiale è una scienza che ha come obiettivo quello di ricreare l'intelligenza in una macchina, non necessariamente quella umana, in quanto considerata soltanto uno stadio dell'intelligenza, ma l'intelligenza tout court». Ero altresì consapevole del fatto che, sia a causa delle mie attuali conoscenze in materia, sia per la giovane età di questa scienza, la mia risposta non era per nulla esaustiva.

Leonardo prima di creare il famoso codice delle proporzioni aveva approfondito al massimo livello possibile per i tempi i suoi studi di anatomia; così per ipotizzare un'intelligenza artificiale coloro che si sono misurati nell'impresa hanno ritenuto fondamentale capire che cosa fosse l'intelligenza, in particolare dell'uomo, e quali fossero le cause, i meccanismi che portavano a definirla tale.

Nella mia tesina ho cercato quindi di riassumere in modo sommario gli studi filosofici (da Platone ad oggi) che hanno consolidato l'attuale definizione di intelligenza; in seguito ho accennato al sistema neurale biologico, descrivendone i principali meccanismi; infine, sin dove le mie competenze me lo hanno permesso, ho tentato di parlare della ricerca di ricreare un neurone biologico attraverso funzioni matematiche.

L'origine del mio interesse in tal senso è dovuta all'incontro (tramite internet), risalente a due anni or sono, con un ingegnere informatico che, su incarico del CNR, indaga sull'intelligenza artificiale; egli mi ha presentato un suo grande amico interessato al problema, nonché fondatore del gruppo di lavoro UIC (Univesità Italiana Cracking); così ho avuto le linee guida del percorso che ho compiuto. In questi due anni ho avuto il piacere di conoscere, tramite i loro testi, studiosi come Minsky e Rosenblatt (trascurando a volte i

manuali scolastici) e di apprezzare appieno la matematica, che prima vedevo soltanto come un gradevole esercizio teorico.

Ho iniziato a pensare l'intelligenza come un insieme di processi di rappresentazioni simboliche wittgensteiniane; ho proseguito, cambiando radicalmente la mia opinione, avvicinandomi, sui testi di Rosenblatt, alla visione connessionista; oggi penso che entrambi debbano necessariamente coesistere poiché, nonostante la loro opposizione formale e metodologica, hanno molti punti complementari. Questa tesi, sviluppata in un trattato di Minsky [5], viene resa evidente da come funziona il cervello umano. Infatti, quando noi pensiamo ad un oggetto, come per esempio una casa, abbiamo in mente una raffigurazione soggettiva che varia da persona a persona. Ciò indicherebbe quindi sia una raffigurazione per simboli sia un insieme di stati eccitatori dei neuroni che ci permettono di pensare ed immaginare la casa. Tale connubio verrebbe reso possibile sia dall'utilizzo di funzioni matematiche, necessarie al paradigma connessionista, sia all'utilizzo di oggetti e figure, necessari al paradigma simbolico. Sia le funzioni matematiche che le figure sono utilizzate dal perceptron. Dunque mettere a punto un perceptron, che crei figure geometriche rappresentanti oggetti della realtà (come ad esempio una casa), le immagazini all'interno dell'insieme della sua conoscenza e sia in grado, una volta reincontrato un oggetto simile appartenente alla stessa categoria (un'altra casa), di riconoscerlo come tale, potrebbe essere il punto di partenza per giungere all'intelligenza artificiale. Potremo mai ricreare l'intelligenza? I risultati fino ad ora ottenuti, come il famoso computer che batté al gioco degli scacchi Kasparov, non sono ancora sufficienti. Potremo un giorno creare una macchina che pensa? Fino a che non ne avremo creata una non potremo saperlo: è grazie a questo dubbio che la ricerca non potrà mai perdere di interesse.

Simone Casale Brunet

Ringraziamenti

Sento l'esigenza di esprimere la mia riconoscenza ed un sincero ringraziamento alle seguenti persone: l'ingegnere Alberto Pelliccione per avermi iniziato, due anni or sono, alla materia attraverso un intenso scambio di informazioni, consigli e suggerimenti tramite internet; il professor Eligio Milano, per i suggerimenti concernenti l'organizzazione formale della tesina; il professor Cassiano Pascal, per la discussione sulla parte matematica; i componenti del gruppo di lavoro dell'Università Italiana Cracking ed il suo fondatore Quequero, per la grande disponibilità dimostrata; il professor Carlo Buat Albiana, per avermi consentito l'accesso al laboratorio d'informatica della scuola e dato l'assistenza necessaria; il mio amico Joël Désayeux, per avermi prestato il suo computer portatile durante la mia permanenza in convitto; la dottoressa Selena Désayeux, per avermi fornito materiale fondamentale per l'analisi del sistema nervoso; Hélène Champvillair, per avermi permesso di usare i nuovi computer dell'ala femminile del convitto; l'intero consiglio di classe della classe V A del liceo scientifico tecnologico dell'istituto Regina M. Adelaide di Aosta ed in particolar modo la professoressa Sandra Marguerettaz e la professoressa Morena Perron; infine mi sembra doveroso ringraziare i miei mecenati, cioè mamma e papà.

Appunti introduttivi

Marcel Proust nell'opera *À la recherche du temps perdu* [15] così descrive la nascita di un'emozione ed il suo sviluppo:

[...] Et tout d'un coup le souvenir m'est apparu. Ce goût celui du petit morceau de madeleine que le dimanche matin à Combray (parce que ce jour-là je ne sortais pas avant l'heure de la messe), quand j'allais lui dire bonjour dans sa chambre, ma tante Léonie m'offrait après l'avoir trempé dans son infusion de thé ou de tilleul. La vue de la petite madeleine ne m'avait rien rappelé avant que je n'y eusse goûté; peut-être parce que, en ayant souvent aperçu depuis, sans en manger, sur les tablettes des pâtisseries, leur image avait quitté ces jours de Combray pour se lier à d'autres plus récents; peut-être parce que de ces souvenirs abandonnés si longtemps hors de la mémoire, rien ne survivait, tout s'était désagrégé; les formes, et celle aussi du petit coquillage de pâtisserie, si grassement sensuel, sous son plissage sévère et dévot s'étaient abolies, ou, ensommeillées, avaient perdu la force d'expansion qui leur eût permis de rejoindre la conscience. Mais, quand d'un passé ancien rien ne subsiste, après la mort des êtres, après la destruction des choses, seules, plus frêles mais plus vivaces, plus immatérielles, plus persistantes, plus fidèles, l'odeur et la saveur restent encore longtemps, comme des âmes, à se rappeler, à attendre, à espérer, sur la ruine de tout le reste, à porter sans fléchir, sur leur gouttelette presque impalpable, l'édifice immense du souvenir. [...]

Lo stimolo esterno, del tutto casuale ed imprevisto (il the, la madeleine), è una componente essenziale, un punto di partenza per lo sviluppo di un'emozione originaria, la quale, a sua volta, compie un percorso autonomo, complicandosi in altre emozioni, attivando la memoria, riproponendo in primo piano sentimenti e pensieri. Né i filosofi né gli scienziati sono ancora riusciti a definire con esattezza il termine ed il funzionamento delle emozioni, che nella quotidianità gli esseri viventi provano e manifestano, ciascuno con gli strumenti che ha a disposizione. Una teoria ipotizza che

le emozioni sono quel meccanismo del sistema nervoso che stabilisce delle priorità nei comportamenti e nell'attività cognitiva, facendo sorgere una problematica e quindi obbligando il soggetto ad attivarsi, per individuare una o piu' strade adeguate a risolverla, attraverso sperimentazioni successive. Il caso dell'innamoramento tra due giovani è sintomatico: l'obiettivo principale è la condivisione in eterno di ogni aspetto dell'esistenza con la persona amata, senza tener conto, o comunque mantenendo in secondo piano, i problemi, le difficoltà, gli accorgimenti che si devono predisporre ed affrontare conducendo una vita in comune. Vi è quindi un'inibizione delle facoltà logico matematiche, che prevalgono quando l'interesse cognitivo è puro ed unicamente teso alla conoscenza. L'amore ha forme di comunicazione verbali e non verbali; ha come strumenti di interrelazione la fisicità, la simbologia, l'immaginazione, il sogno ad occhi aperti; lo stesso linguaggio si arricchisce di figure retoriche che solo il partner puo' comprendere in tutte le loro sfumature (metafore, metonimie, analogie, allegorie, ecc..). Le emozioni costituiscono il fondamento della comunicazione e, sull'impulso che esse danno, si sviluppano svariatissime forme di facoltà più o meno intellettive: ironia, umorismo, desiderio, ... Tutto ciò, insieme alle facoltà teoretiche (la logica e la matematica) danno origine a quell'insieme che noi chiamiamo intelligenza. Proprio perché le emozioni sino ad ora sono una componente irriproducibile, costituiscono la sostanziale differenza tra un uomo ed una macchina: la macchina non desidera, non ha inquietudini, ansie, necessità; in una parola, la macchina non è curiosa.

Capitolo 1

Analisi storica e filosofica

Comprendere i meccanismi del mondo che ci circonda è una delle azioni più nobili che possiamo intraprendere. L'uomo può considerarsi tale solo se coltiva una volontà di ampliare e approfondire la sua conoscenza. Tale esigenza di conoscenza, probabilmente, è alla base dell'intelligenza. Ancora oggi non siamo in grado, però, di definire con esattezza né la parola conoscenza né la parola intelligenza.

1.1 La nascita dell'IA

L'intelligenza artificiale è il frutto della ricerca scientifica (dove per scientifica intendo matematica, biologia, fisica, ecc...) del XX e del XXI secolo. Il termine Intelligenza Artificiale (dall'inglese *Artificial Intelligence*, IA) nasce nel 1956, durante una conferenza tenutasi al Dartmouth College (USA) dove venne utilizzato per la prima volta. Alla conferenza di Dartmouth, divenuta ormai leggendaria, parteciparono illustri professori del calibro di J. Mc Carthy, M. Minsky, A. Newell e H. Simon (premio Nobel nel 1978 per aver progettato una rete neurale atta a risolvere complessi problemi di matematica finanziaria in scenari di razionalità limitata). Questi patriarchi, se così li possiamo definire, gettarono quel giorno solide basi ad una scienza che ha due obbiettivi fondamentali:

1. uno scopo scientifico, che la proietta nelle scienze cognitive, consistente nel comprendere i principi ed i meccanismi che sono alla base dell'intelligenza umana;
2. uno scopo ingegneristico, consistente nella realizzazione di artefatti in grado di esibire comportamenti intelligenti, come la soluzione di problemi di grande difficoltà, richiedenti elevata competenza.

1.2 Il paradigma simbolico

L'IA, come tutte le scienze, evolve e spesso nascono da lei correnti di pensiero opposte, dove una teoria più recente, cerca di smentirne un'altra più vecchia. L'IA classica, il ramo più anziano, fonda le proprie basi su un paradigma, il così detto paradigma simbolico, enunciato dagli stessi Newell e Simon, riassumibile in questo modo [2]:

1. esiste un mondo reale fatto di oggetti che sono in relazione tra loro;
2. i processi intellettivi (umani o artificiali) consistono in un'opportuna manipolazione di simboli, che referenziano tali oggetti e le loro relazioni: da qui la necessità di rappresentare simbolicamente il mondo in una base di conoscenza;
3. i simboli possono essere manipolati e trasformati tramite meccanismi logico-inferenziali di deduzione, induzione, analogia, plausibilità ecc. che producono altri simboli. La soluzione di problemi da parte di un essere intelligente, sia esso un umano, un computer o un alieno extra-terrestre, richiede una manipolazione adeguata dei simboli della base di conoscenza. Tipicamente la manipolazione viene eseguita in modo ricorrente e produce un filone sequenziale di ragionamento, che porta da simboli iniziali (i dati del problema) a simboli terminali che costituiscono la soluzione del problema.

L'IA ha da sempre cercato di risolvere, tramite la manipolazione di simboli, problemi di elevata difficoltà, come ad esempio la dimostrazione di teoremi, la traduzione da una lingua all'altra e il gioco degli scacchi. Quest'ultimo, ad esempio, è stato da sempre ritenuto una vera e propria palestra d'intelligenza. Il numero di mosse eseguibili è infatti iper-astronomico (circa 10^{100}) e quindi il problema non può essere risolto con la forza bruta dell'esame esaustivo delle combinazioni. È necessario allora ricorrere a tattiche e strategie per ridurre drasticamente il numero di combinazioni da prendere in considerazione. Le ricerche sul gioco degli scacchi, iniziate negli anni '50, hanno portato negli anni successivi non solo algoritmi importanti, oggi usati in molte applicazioni (come gli algoritmi di ricerca Alpha-Beta, B*, ecc.), ma anche programmi come il famoso DeepBlue, che è riuscito a battere il campione mondiale di scacchi G. Kasparov.

1.3 Critica al paradigma simbolico

Il paradigma simbolico che, come abbiamo detto prima, è alla base della branca più anziana dell'IA, è un *nipotino* del dualismo mente-corpo che ha imperversato nella filosofia da Platone a Cartesio e sino ai giorni nostri.

Già Platone, nel dialogo del sofista, separava nettamente l'Anima dal Corpo, conferendo alla prima la facoltà del ragionamento e della comunicazione con l'Essere reale (sempre identico e costante) e al secondo la facoltà delle sensazioni e della comunicazione con il divenire. Cartesio, da parte sua, distingue nettamente il mondo dello spirito o *res cogitans* da quello della materia o *res extensa*, conferendo solo all'uomo intelligenza, coscienza, ragionamento e considerando gli animali come meri automi. Anche il paradigma simbolico svincola l'intelligenza dal corpo, ritenendola una manipolazione di stimoli astratti. In particolare, tale concezione esclude ogni antropomorfismo fisico e quindi esclude la necessità di simulare anatomia e fisiologia del sistema nervoso per ricreare l'intelligenza; al contrario di quanto afferma il paradigma connessionista, al quale si ispirano le reti neurali.

Le fonti di ispirazione del paradigma simbolico sono la logica, la psicologia, la linguistica e la stessa filosofia. Viene anche trascurata l'importanza dei cambiamenti del divenire, dell'apprendimento, dell'adattività all'ambiente, che sono invece cruciali nel paradigma connessionista. Il paradigma simbolico, inoltre, si concentra esclusivamente sull'intelligenza umana, trascurando completamente quella degli altri esseri viventi, anche se ormai è nota l'esistenza di un continuum che va dall'ameba all'uomo. Sappiamo infatti, che un batterio (privo persino di sistema nervoso, perché costituito da una sola cellula), è in grado di riconoscere l'esistenza di sostanze nutritive nel suo ambiente e di dirigersi verso di esse muovendo i suoi flagelli. Sappiamo anche che i polipi possono apprendere a riconoscere figure geometriche, manifestando così semplici capacità di astrazione.

Troviamo le basi filosofiche che conferiscono al corpo tutta la sua rilevanza, particolarmente nella cosiddetta analitica esistenziale di M. Heidegger, il quale capovolge il cogito ergo sum cartesiano in un *sum ergo cogito*. Heidegger ridetta, secondo Dreifuss (1993), sia la concezione platonica, cioè che un atteggiamento teorico distaccato possa essere superiore al coinvolgimento pratico, sia il ruolo centrale assegnato da Cartesio al soggetto cosciente. Secondo Heidegger, *essere* significa per noi uomini *essere nel mondo*, coinvolgendoci e socializzandoci nelle pratiche quotidiane, che incorporiamo dentro di noi, senza rappresentarle esplicitamente nella nostra mente. La vera conoscenza non è teorica ma pratica: conosciamo bene un certo compito se lo eseguiamo senza rifletterci, in modo trasparente.

Tutto ciò verrebbe confermato da un esperimento fatto nel maggio del 2005 da una equipe del MIT [12], università americana tra le più famose al mondo per le sue importanti scoperte in campo scientifico. Infatti questo ha delineato parte di ciò che la conoscenza e l'intelligenza possano essere. Grazie ad uno studio sul canto degli uccelli, si è scoperto che la conoscenza non risiede in una singola regione del cervello, ed inoltre che, per arrivare a produrre un suono simile a quello dei suoi compari, un uccello deve esercitarsi a produrre rumori simili. Da questo esperimento le conclusioni vere e proprie non sono ancora state fatte, ma a mio modesto avviso, la soluzione

è abbastanza chiara: la conoscenza non ha una sede precisa, delineata, ed inoltre essa deriva da una continua interazione dell'essere vivente con l'ambiente che lo circonda. In sostanza, un vero esperto non esegue complicati ragionamenti, ma piuttosto agisce bene e, in un certo senso, solo un principiante deve ricorrere al ragionamento esplicito. Per esempio un medico esperto usa la sua esperienza e ricorre eccezionalmente ai manuali, contrariamente ad un medico principiante. Che la conoscenza genuina non sia legata al ragionamento è anche attestato dal fatto che un esperto non sa giustificare in modo convincente il suo reale comportamento, così come un ciclista non sa spiegare come si tiene in equilibrio. Del resto già il filosofo G.B. Vico aveva affermato che l'uomo conosce solo ciò che sa fare (*verum ipsum factum*) piuttosto che fare solo ciò che conosce. Questo è di fondamentale importanza per l'IA basata sulle reti neurali: infatti un sistema si relaziona continuamente all'ambiente esterno, cercando soluzioni adatte ad un eventuale problema. Le reti neurali vengono applicate in molteplici campi, ad esempio in Valle d'Aosta vengono utilizzate per:

1. l'analisi delle relazioni tra alluvioni e condizioni meteorologiche (un primo esperimento è stato fatto nella valle di Gressoney dopo l'alluvione del 2000) per poter prevenire, o almeno allertare per tempo la popolazione, di un'eventuale catastrofe da scongiurare [13];
2. determinare la bontà di prodotti alimentari, quali formaggi, aceti e grappe, avendo a disposizione parametri chimico-fisici [14].

Capitolo 2

Reti neurali biologiche

Le reti neurali artificiali, come avevamo accennato, si ispirano a quelle biologiche. Risulta quindi indispensabile, comprenderne il funzionamento. Del sistema nervoso e del cervello sono più le cose che ancora non sappiamo, rispetto a quelle che realmente sappiamo. Tuttavia questa ignoranza non deve per alcun motivo scoraggiare anche perché ciò accade per qualunque materia scientifica e perché le nostre conoscenze in materia aumentano esponenzialmente di giorno in giorno. Si può infatti affermare che, negli ultimi venti anni, le nostre conoscenze superano in qualità e quantità quelle accumulate in tutta la storia della scienza.

2.1 Il sistema nervoso ed il cervello

Il sistema nervoso è una conquista relativamente recente degli esseri viventi, infatti la sua nascita avviene soltanto dopo che i primi organismi monocellulari diventano organismi pluricellulari molto complessi. In un organismo vivente l'interazione fra cellule è indispensabile: più questa è veloce più sarà efficiente. I primi disponevano di soli segnali chimici che si propagavano, in maniera lenta e non mirata, da una cellula ad un'altra. Ecco quindi che la teoria della selezione darwiniana ha favorito la creazione di canali di trasmissione diretti e specializzati tra cellule anche distanti, convogliando segnali elettro-chimici. Nasce allora il sistema nervoso, evolvendo poi dalla semplicità di quello di un verme alla complessità di quello umano. L'evoluzione del sistema nervoso ha portato ad una cefalizzazione crescente, cioè una rilevanza sempre maggiore del cervello: in animali semplici, come appunto il verme, tutto il sistema si concentra in gangli distribuiti in tutto il corpo, mentre in animali più complessi si sviluppa un ganglio preponderante nella testa. Nel cervello, inoltre, si forma gradualmente una struttura particolarmente pregiata: la corteccia. In un primo tempo evolve l'archo-corteccia, che già troviamo nei dinosauri e che consente interrelazioni di una certa complessità con l'ambiente e l'adattamento dinamico ad esso. In un secondo tempo si

sviluppa la paleo-corteccia, che troviamo nei mammiferi primitivi e che aggiunge agli istinti la capacità di apprendere e le emozioni. Finalmente, con l'ominazione, si sviluppa la neo-corteccia, che consente astrazione, generalizzazione e creatività. Il cervello umano è la sovrapposizione di tre cortecce, la archeo, la paleo e la neo-corteccia: quest'ultima ne costituisce ben l'85%.

Il sistema nervoso è una rete interconnessa di neuroni, o cellule nervose. Una cellula nervosa, come tutte le cellule del nostro organismo, è separata dal suo ambiente da una membrana che limita il flusso di materiali. Tuttavia, essa è di forma atipica. Protuberanze chiamate dendriti, e una struttura lunga e sottile, l'assone, sono attaccati alla parte centrale della cellula, il corpo cellulare. Gli assoni hanno un diametro che va da 1 a 20 micron ($1 \text{ micron} = 1 \cdot 10^{-10} m$) e possono essere molto lunghi (per esempio alcuni assoni arrivano fino al piede, quindi un assone umano può essere lungo anche $1m$). Gli assoni hanno l'insostituibile compito di rendere possibile la trasmissione delle informazioni all'interno del sistema nervoso mediante impulsi elettrici. La trasmissione di questi impulsi differisce molto dalla trasmissione di impulsi elettrici attraverso un filo elettrico. In quest'ultimo, infatti, si ha una bassissima resistenza, al contrario dell'assone, che risulta di resistenza molto maggiore oltre che essere poco isolato dal suo ambiente. La velocità di trasmissione di un impulso nervoso, poi, è soltanto un milionesimo rispetto a quella di un impulso elettrico, il quale viaggia a velocità prossime a quella della luce.

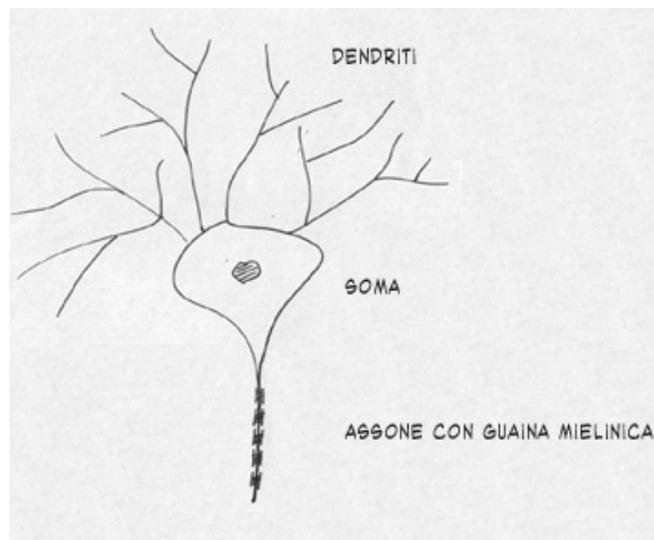


Figura 2.1: Rappresentazione schematica di un neurone biologico

2.2 Gli impulsi nervosi

Per comprendere che cosa siano gli impulsi nervosi e in che modo vengano trasmessi lungo un neurone, dobbiamo innanzitutto studiare un neurone a riposo, cioè un neurone che non stia trasmettendo impulsi. Dal punto di vista funzionale, un neurone a riposo assomiglia ad una torcia elettrica: entrambi infatti, contengono energia potenziale, ossia energia che può svolgere un lavoro. L'energia potenziale della pila può essere utilizzata per produrre luce, mentre quella del neurone serve per mandare impulsi da una parte all'altra del corpo. Che cosa dà origine a questa energia immagazzinata nel neurone? Possiamo trovare la risposta soltanto dopo aver analizzato la membrana che riveste il citoplasma dell'assone. La membrana trattiene, all'interno della cellula, ioni in soluzione e alcune grosse molecole organiche; la maggior parte di esse è carica negativamente. Inoltre, sulla membrana, sono posizionati speciali canali, costituiti da proteine, che regolano il passaggio di ioni inorganici come il sodio (Na^+) e il potassio (K^+). Gli ioni K^+ , in una situazione di riposo, sono più concentrati all'interno del citoplasma, mentre all'esterno troviamo principalmente gli ioni Na^+ . L'interno della cellula possiede una carica elettrica negativa, mentre nell'ambiente esterno prevalgono le cariche positive. Ciò crea una differenza di potenziale elettrico fra le due facce della membrana cellulare. La membrana delle cellule nervose mostra una differente permeabilità a svariate sostanze, le più rilevanti delle quali sono proteine e ioni.

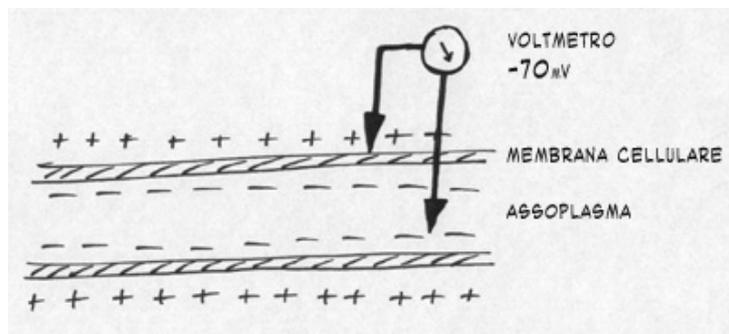


Figura 2.2: Situazione di riposo di un neurone

La membrana cellulare è impermeabile ad acidi organici e proteine (a carica elettrica negativa), che rimangono dunque all'interno della cellula, ed è scarsamente permeabile allo ione sodio (Na^+), che rimane, quindi, per lo più segregato nello spazio extra cellulare. La membrana è invece molto permeabile allo ione potassio (K^+), che è libero di muoversi fra lo spazio intra ed extra cellulare, fino a trovarsi in una situazione di equilibrio elettrochimico, cioè assecondando sia il suo gradiente di concentrazione sia le forze di attrazione e repulsione elettrostatica con altri ioni (cariche di uguale

segno si respingono, cariche di segno opposto si attraggono). Il risultato netto è una presenza del K^+ prevalentemente all'interno della cellula.

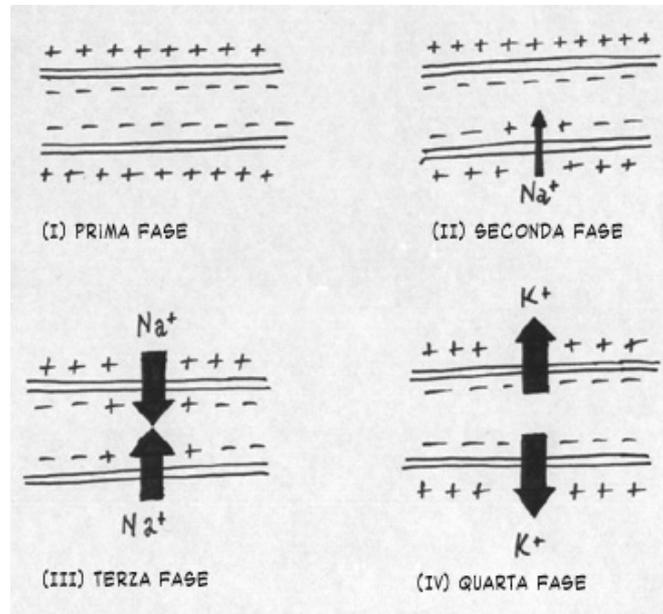


Figura 2.3: Spostamento degli ioni che danno origine al potenziale d'azione

Ricapitolando, acidi organici, proteine e K^+ sono prevalenti all'interno della cellula, Na^+ e Cl^- (ione cloro) prevalgono nel liquido extra cellulare. Questa distribuzione ineguale di cariche elettriche fa sì che l'interno della cellula sia carico negativamente rispetto all'esterno. La differenza di potenziale elettrico misurabile fra le due facce della membrana (interna ed esterna) viene chiamata potenziale di riposo ed è solitamente pari a circa $-70\text{millivolt}(mV)$. Sulla membrana sono situate speciali proteine, dette pompe sodio-potassio, le quali si aprono solo in seguito ad una stimolazione abbastanza intensa, lasciando passare lo ione Na^+ dall'esterno all'interno della cellula. Questa corrente entrante, fatta di cariche positive, porta il potenziale di membrana da $-70mV$ a circa $-40mV$. A questo valore di potenziale (potenziale soglia), altri canali del Na^+ si aprono facendo così ulteriormente salire il valore del potenziale in un vero e proprio ciclo rigenerativo detto ciclo di Hodgkin (più sale il potenziale e più canali si aprono, più Na^+ entra e più sale il potenziale e così via). Il risultato del ciclo di Hodgkin è la formazione di un potenziale di membrana positivo detto potenziale d'azione o, in inglese, spike. La salita del potenziale si arresta a circa $+40mV$, perchè a questo valore i canali del Na^+ cominciano a richiudersi, impedendo un ulteriore accumulo di cariche positive all'interno della cellula. Contemporaneamente, si aprono dei canali di membrana permeabili allo ione K^+ . Questo ione, che è più concentrato all'interno della cellula, comincia ora

a fuoriuscirne, seguendo il suo gradiente di concentrazione; spinto inoltre dalla repulsione elettrostatica verso le altre cariche positive ora presenti. Questa corrente uscente sottrae cariche positive allo spazio intra-cellulare, riportando il potenziale verso il valore negativo di partenza. Il potenziale d'azione è in grado di propagarsi come un'onda, lungo la membrana della cellula nervosa, fino a raggiungere e stimolare altre cellule. Il propagarsi del potenziale d'azione è alla base della trasmissione degli impulsi nervosi da una cellula all'altra. Si può dunque dire che il potenziale d'azione è la risposta attiva della cellula allo stimolo.

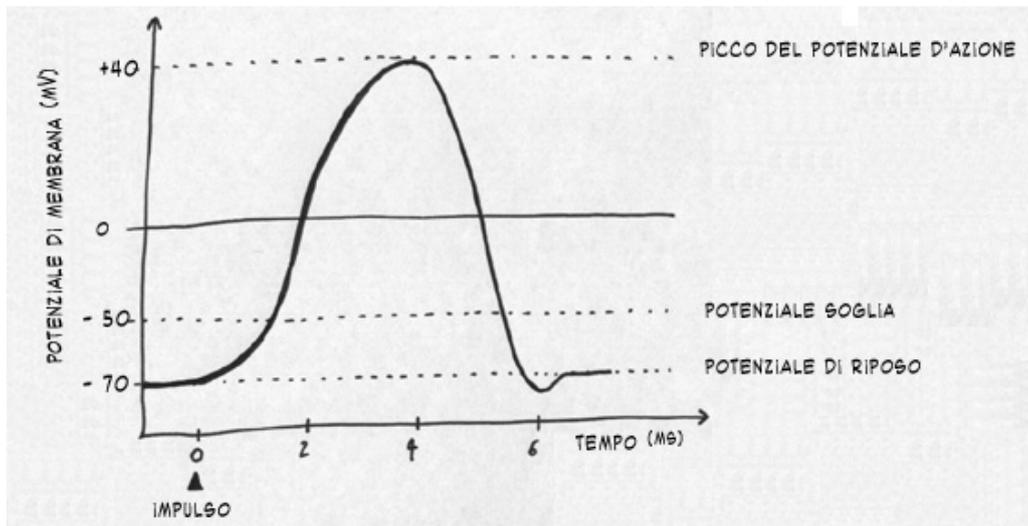


Figura 2.4: Grafico del potenziale d'azione

2.3 Le sinapsi ed i neurotrasmettitori

Un componente fondamentale del sistema nervoso è la sinapsi, ossia la giunzione tra due neuroni, o tra un neurone ed una cellula effettrice. Le sinapsi possono essere elettriche oppure chimiche. In una sinapsi elettrica il potenziale d'azione passa direttamente dall'assone pre-sinaptico al dendrita post-sinaptico. Nelle sinapsi chimiche, invece, il potenziale d'azione che percorre un assone pre-sinaptico, stimola la liberazione di neurotrasmettitori (molecole chimiche) dai bottoni sinaptici. I neurotrasmettitori si diffondono attraverso gli spazi sinaptici, dove si legano a speciali recettori posti sulla membrana della cellula post-sinaptica. Il legame tra neurotrasmettitore e recettore permette la generazione di un nuovo potenziale d'azione che si diffonderà nella cellula.

Possiamo classificare i neurotrasmettitori in tre categorie chimiche: amminoacidi, ammine, peptidi. I neurotrasmettitori amminoacidi e amminici

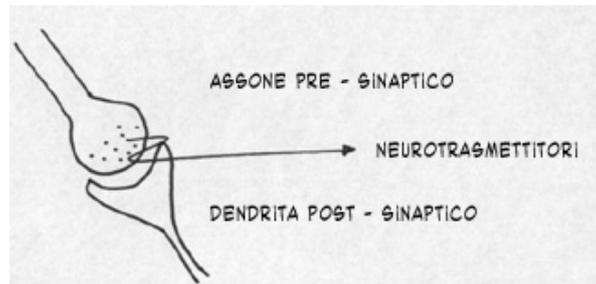


Figura 2.5: Rappresentazione schematica di un collegamento sinaptico

sono piccole molecole organiche, contenenti un atomo di azoto, che vengono incorporate e poi rilasciate dalle vescicole sinaptiche. Esempi di aminoacidi sono l'acido aspartico, l'acido glutammico e l'acido gamma aminobutirrico (GAMA). Questi sono noti per la loro importanza a livello del sistema nervoso, in quanto l'acido aspartico e l'acido glutammico hanno funzione eccitatoria, mentre il GAMA è inibitore. Per quanto riguarda le ammine, troviamo neurotrasmettitori quali l'adrenalina e la noradrenalina, che accelerano il battito cardiaco in stati di tensione; la serotonina e la dopamina agiscono sul sonno e sull'umore, sull'attenzione e sull'apprendimento. Certe sostanze, poi, come l'LSD e la mescalina sembrano produrre i loro effetti allucinogeni, legandosi ai recettori della serotonina e della dopamina presenti nel cervello. I neurotrasmettitori peptidici, invece, sono catene relativamente corte di aminoacidi, che hanno funzione di neurotrasmettitori. Le endorfine ad esempio, sono peptidi che agiscono sia come neurotrasmettitori sia come ormoni, riducendo la nostra percezione del dolore, mentre un altro peptide, chiamato sostanza *P*, è un neurotrasmettitore eccitatorio che amplifica tale percezione.

2.4 Il comportamento del neurone

Si possono studiare e comprendere molte delle proprietà elettriche di un assonone con l'aiuto di un modello elettrico. Si pensi all'assone come un filo conduttore, ricoperto con un isolante difettoso, nel quale la corrente si disperda nell'ambiente circostante in molti punti. In particolare si assume che l'assone sia composto da una membrana cilindrica contenente un fluido conduttore, l'assoplasma, dove la corrente possa viaggiarvi e possa anche disperdersi verso l'esterno attraverso la membrana.

Le proprietà elettriche che caratterizzano l'assone sono riferibili a quelle di un circuito elettrico. Si può così determinare una resistenza R che un tratto di assone oppone al passaggio di una corrente i_{assone} che scorre lungo l'assone.

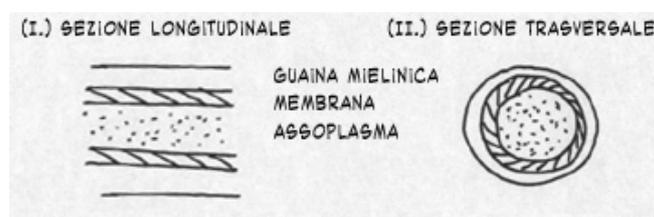


Figura 2.6: Sezione longitudinale e trasversale di un assone mielinico

$$R_m = \frac{\Delta V}{i_{\text{assone}}} \quad (2.1)$$

Questa è proporzionale alla resistività ρ , alla lunghezza del segmento considerato ed inversamente proporzionale alla sua sezione (seconda legge di Ohm).

$$R = \frac{l}{A} \cdot \rho \quad (2.2)$$

La resistenza offerta da una superficie di area unitaria di membrana al passaggio di una corrente di dispersione $i_{\text{dispersione}}$, è denominata R_m dove

$$R_m = \frac{\Delta V}{i_{\text{dispersione}}} \quad (2.3)$$

La resistenza di un filo di sezione trasversale $A = \pi r^2$ sarà quindi $R = \frac{R_m}{A}$, ottenendo $R = 2,5 \cdot 10^8 \Omega$. Questa è una resistenza enorme! Essa eguaglia quella di un filo di rame lungo $70Km$, del di diametro $0,08mm$, uno dei fili più sottili normalmente reperibili. La natura ha però paradossalmente escogitato un sistema di comunicazione efficiente, usando un filo che generalmente sarebbe considerato un buon isolante. Proviamo quindi a considerare l'assone come un condensatore piano. Le due armature sono costituite dall'interno della membrana e dalla zona in cui sono disciolti nel liquido interstiziale gli ioni di Na^+ e K^+ . La loro distanza quindi varierà in base allo spessore della guaina mielinica che li riveste.

La membrana, inoltre, ha anche una capacità elettrostatica, poichè cariche di segno opposto si accumulano sui due lati di essa.

$$C = \frac{Q}{S} \quad (2.4)$$

ovvero

$$C = \frac{S}{d} \cdot \epsilon \quad (2.5)$$

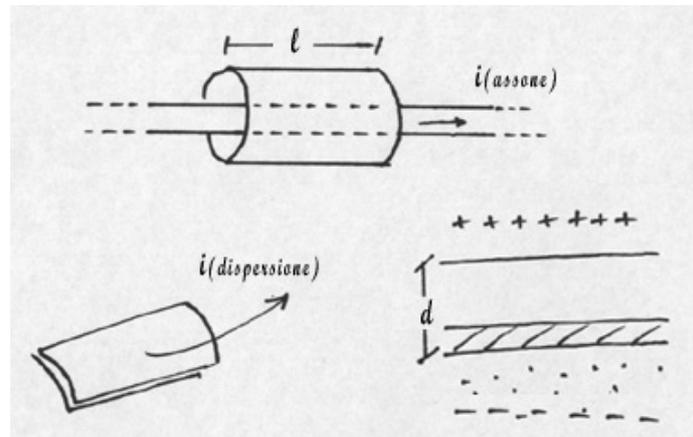


Figura 2.7: L'assone viene considerato come un condensatore piano

Questa sarà maggiore in un assone amielinico e minore in uno mielinico. Tale proprietà impedisce così alla membrana superficiale di un assone mielinico di assorbire cariche elettriche, che andrebbero disperse a causa della bassa resistenza della membrana stessa. Perché vi sia una bassa dispersione di cariche, infatti, la resistenza della membrana (R) deve uguagliare quella dell'assoplasma (R') ottenendo così $R = R'$. In tale modo si può definire una distanza λ per la quale le due resistenze siano uguali

$$\frac{\lambda \rho}{\pi r^2} = \frac{R_m}{2\pi r \lambda} \quad (2.6)$$

ovvero

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m r}{2\rho}} \quad (2.7)$$

La distanza λ , chiamata parametro spaziale, indica quanto lontano una corrente viaggia, prima che la maggior parte di essa si sia dispersa attraverso la membrana. In base ai calcoli si ottiene che $\lambda = 0,05\text{cm}$ per un assone amielinico, e $0,7\text{cm}$ per un assone mielinico. Da questi valori appare evidente che in un nervo mielinico il segnale può viaggiare molto più lontano senza essere amplificato.

Capitolo 3

Reti neurali artificiali

La frequenza con cui gli impulsi nervosi passano lungo il sistema nervoso è assai minore rispetto alla frequenza di calcolo dei normali processori per computer. Infatti la rete neurale biologica ha tempi di computazione che sono nell'ordine dei $10msec$ ($100Mhz$) contro le centinaia di Mhz dei processori come il Pentium. Le ottime prestazioni del nostro cervello dipendono dal gran numero di neuroni e connessioni. Nell'uomo abbiamo: 10^{10} neuroni, 10^4 sinapsi per neurone, $10^{10} \cdot 10^4 = 10^{14}$ sinapsi. Tra computer e cervello sembra esistere una differenza irriducibile: ciò che è semplice per il cervello è difficile per il computer e viceversa. In compiti come la visione, il linguaggio e il coordinamento senso motorio, il cervello è più potente di 1000 super-computer; tuttavia in compiti semplici, come fare moltiplicazioni, è superato anche da una calcolatrice tascabile.

3.1 Il neurone artificiale

La vera potenza del cervello sta nella sua possibilità di calcolo parallelo, alla quale il prima citato paradigma connessionista cerca di ispirarsi per la creazione di reti neurali artificiali. I moderni computer di casa, pur essendo molto veloci, eseguono una sola operazione per unità di tempo, a differenza del sistema nervoso, che in un'unità di tempo, esegue un numero impressionante di operazioni. Un neurone biologico, come visto nel precedente capitolo, riceve delle informazioni in input da altri neuroni a lui collegati e ne trasmette altre in output. Questa situazione può essere schematizzata dalla funzione matematica

$$P = \sum_{i=0}^n X_i W_i \quad (3.1)$$

dove X_i sono gli input provenienti da altri neuroni e W_i sono i valori bias, cioè valori di potenziamento o inibizione del segnale entrante.

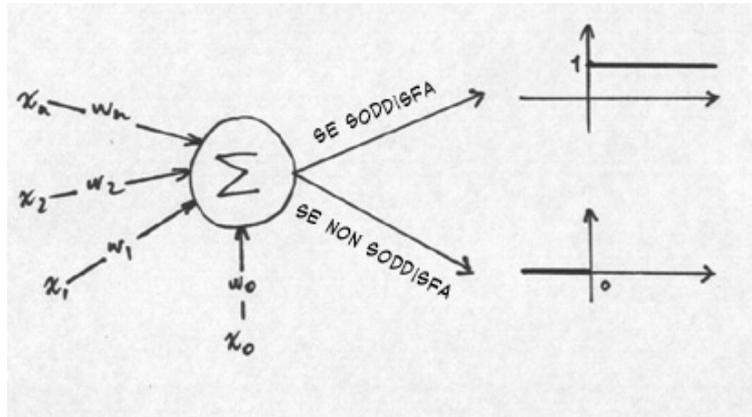


Figura 3.1: Schematizzazione di un neurone artificiale

Avevamo detto che la trasmissione del segnale poteva avvenire soltanto se il potenziale d'azione superava un certo valore soglia. Quindi la funzione

$$P = \sum_{i=0}^n X_i W_i > 0 \quad (3.2)$$

Per rendere possibile la variazione del valore soglia di neurone (che starebbe alla base della immensa potenzialità del sistema nervoso), imponiamo $W_0 = 1$ e $X_0 = -\Theta$, cosicché otteniamo

$$P = 1 \cdot (-\Theta) + \sum_{i=1}^n X_i W_i > 0 \quad (3.3)$$

ovvero

$$P = \sum_{i=1}^n X_i W_i > \Theta \quad (3.4)$$

Lo stato $S_i(t)$ di un neurone, che è di tipo binario (vale a dire 0 o 1), evolve nel tempo discreto $1, 2, 3, \dots, t, \dots, T$. Lo stato successivo $S_i(t+1)$ viene calcolato con un'opportuna legge di attivazione

$$S_j(t+1) = F(P_i) \quad (3.5)$$

dove F è anche denominata funzione di trasferimento. La funzione di trasferimento più comune è quella a gradino di Heavyside (si veda anche il capitolo *Funzione Θ di Heavyside* nell'appendice A).

$$F(P) = \text{signum}(P) \quad (3.6)$$

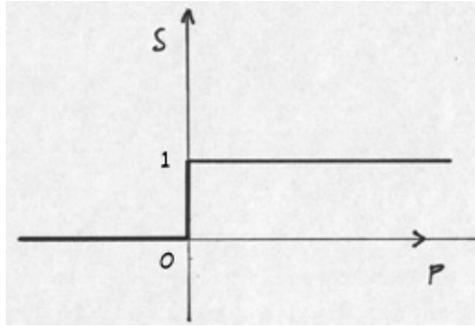


Figura 3.2: Rappresentazione grafica della funzione $\text{signum}(P)$

con valori binari $(0, 1)$; si ha $F(P) = 0$ per $P \leq 0$, $F(P) = 1$ per $P > 0$.

Questo tipo di neurone artificiale viene detto anche Perceptron. Il Perceptron venne per la prima volta proposto da F. Rosenblatt (Cornell University) nel 1958 per il riconoscimento e la classificazione di forme o patterns. Esso costituì un notevole progresso rispetto alla rete neurale binaria, ideata nel 1943 da McCulloch e Pitts. I suoi pesi sinaptici, infatti, sono variabili e quindi la macchina è in grado di apprendere.

3.2 Il perceptron

Il Perceptron riconosce se una generica forma Γ , presentata in input, appartiene o meno a una determinata classe F . Esso, inoltre, apprende il riconoscimento della classe F partendo da valori casuali dei pesi sinaptici (W_i) e modificandoli opportunamente, nel corso di presentazioni in input sia di esempi positivi (forme di classe F), sia di esempi negativi (forme non- F). Prendiamo come esempio il problema di riconoscimento di figure concave o convesse mediante un perceptron di ordine 3 (vale a dire che ogni funzione richiede tre valori di input).

Applicando la geometria, sappiamo che nelle figure concave si possono individuare segmenti \overline{PR} tali che P ed R appartengono alla figura, mentre il punto intermedio Q non vi appartiene. Basta quindi che le funzioni $f(\Gamma)$ siano funzioni di tre punti P, Q, R (dove Q è, come abbiamo detto pocanzi, il punto medio del segmento \overline{PR}) tali che $f(P, Q, R) = 1$ solo se P e R , ma non Q , appartengono alla figura X da classificare. In tal caso infatti, se il numero di funzioni è sufficientemente grande ed i relativi segmenti \overline{PR} sono sufficientemente distribuiti su tutta la figura da riconoscere, posto $W_i = 1$ e $\Theta = 0$, si ha

$$\sum W_i f_i(P, Q, R) = \sum f_i(P, Q, R) > \Theta = 0 \quad (3.7)$$

solo se X è una figura concava, perchè solo in tale circostanza si avrà almeno

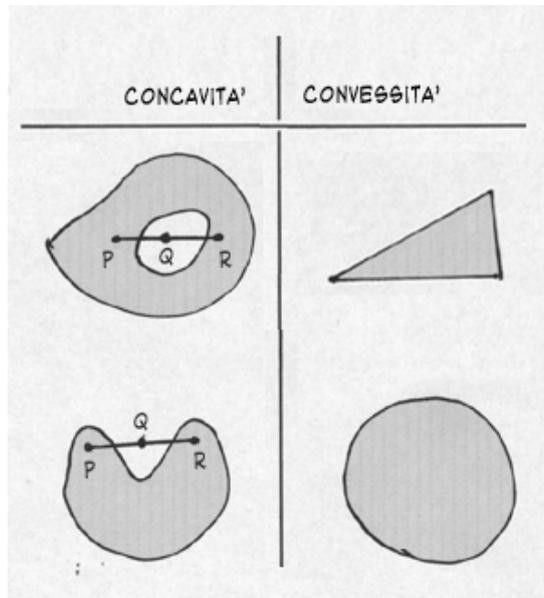


Figura 3.3: Esempi di figure concave e convesse: solo nelle figure concave si possono individuare segmenti PR tali che P e R appartengono alla figura, mentre il punto Q non vi appartiene

una $f_i(P, Q, R) = 1$. Un'altra applicazione molto interessante è quella delle tabelle di verità, introducendo così anche il concetto di separatore lineare. Le tabelle di verità sono

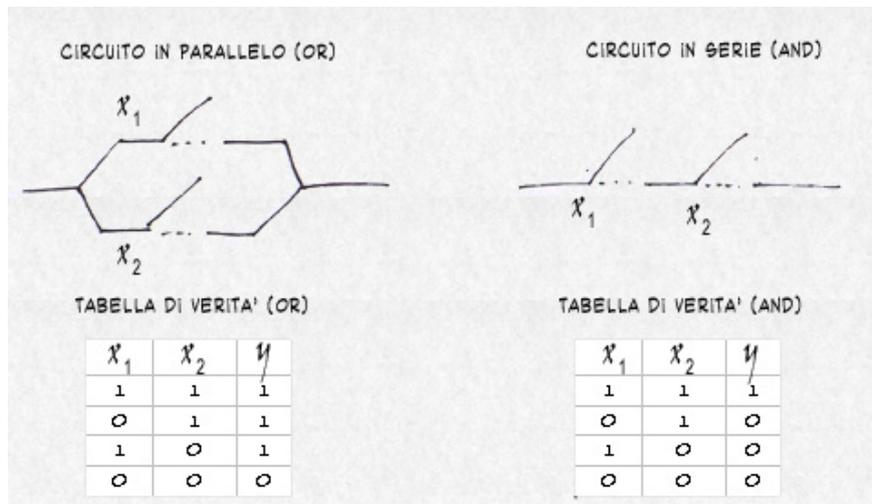


Figura 3.4: Tabelle di verità delle funzioni Booleane AND e OR

Le variabili x_i sono, in uno spazio a n dimensioni (nel nostro caso a 2),

le coordinate di un punto X che rappresenta l'input del neurone.

$$\sum_{i=0}^n x_i w_i > 0 \quad (3.8)$$

imponendo $\Theta = -x_0 w_0$, con $w_0 = 1$, (considerando Θ il nostro *valore soglia*) otterremo l'equazione

$$-\Theta + x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n > 0 \quad (3.9)$$

cioè anche

$$\sum_{i=1}^n -\Theta = x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots x_n w_n - \Theta > 0 \quad (3.10)$$

Nel caso a due dimensioni, imponiamo x_2 come asse delle ordinate e x_1 quello delle ascisse; otteniamo

$$x_1 w_1 + x_2 w_2 - \Theta > 0 \quad (3.11)$$

quindi

$$x_2 = -\frac{w_1 x_1}{w_2} + \frac{\Theta}{w_2} \quad (3.12)$$

non è altro che l'equazione di una retta: il nostro separatore lineare.

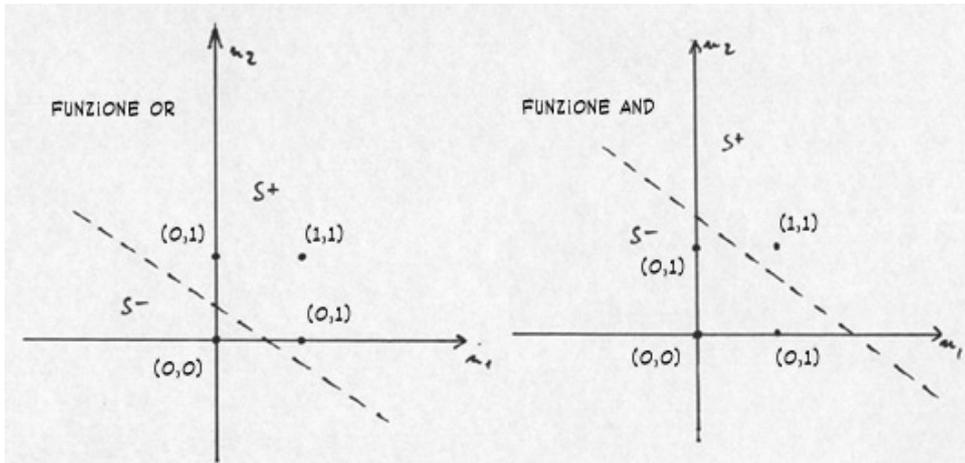


Figura 3.5: Rappresentazione grafica dei due separatori lineari

La funzione separatore lineare individuerà quindi due semipiani: uno S^+ e uno S^- . Si può notare quindi che modificando soltanto il valore soglia Θ (cioè il termine noto dell'equazione della nostra retta) siamo in grado di

rappresentare o la tabella del OR o quella del AND. Si noti ancora che, per un determinato problema, si hanno tante soluzioni possibili: per esempio, nel problema AND si hanno tante soluzioni quante sono le rette parallele che separano, ad esempio nella rappresentazione dell'AND, il punto $P(1; 1)$ dai punti $P'(1; 0)$, $P''(0; 1)$, $P'''(0; 0)$.

Appendice A

Funzione Θ di Heavyside

$$\Theta(x) = \begin{cases} 1, & \text{per } x > 0 \\ 0, & \text{per } x < 0 \end{cases}$$

L'origine è un punto di discontinuità di prima specie poichè l'origine è un punto di discontinuità di prima specie in quanto la funzione Θ di Heavyside non è derivabile in quel punto. Esiste però la possibilità di considerare la $\Theta(x)$ come una distribuzione anzichè come una funzione. La qual cosa permette di definire la derivata prima ovunque.

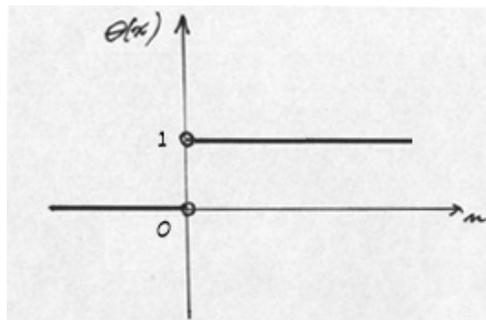


Figura A.1: Rappresentazione grafica della funzione Θ di Heavyside

Bibliografia

- [1] Cap. Quequero: *UIC Press*, Neural Networks (neural networks and artificial intelligence), (2004);
- [2] S. Cammarata: *Etas Libri*, Reti Neurali, 2a edizione (1997);
- [3] M. Minsky: *MIT Press*, Logical vs. analogical or symbolic vs. connectionist, Vol 1 (1991);
- [4] M. Minsky: *MIT Press*, Linear Decision and Learning Models, (1968);
- [5] M. Minsky: *MIT Press*, Why People think computer can't, AI magazine vol 3, no. 4 (1982);
- [6] R. P. Feynman: *Addison and Wesley*, The Feynman Lectures on physics, 2a edizione, (1964);
- [7] L. P. J. Veelenturf: *Prentice Hall*, Analysis and Application of Artificial Neural Networks, 5a edizione (1995);
- [8] S. J. Russel, P. Norvig: *Prentice Hall*, Artificial Intelligence: a modern approach, (1995);
- [9] L. Wittgenstein: *Einaudi*, Tractatus logicus philosophicus e quaderni, nuova edizione (1998);
- [10] N. Abbagnano G. Fornero: *Paravia*, Filosofi e Filosofie nella storia, vol 3 (1986);
- [11] N. Campbell, L. Mitchell J. Reece: *Zanichelli*, Immagini della biologia, vol 3 (2000);
- [12] N. Campbell, L. Mitchell J. Reece: *MIT Tech Talk*, Birds' brains reveal source of songs, Vol 49, no. 25 (2005);
- [13] Eliseo de Matteo: *Università degli studi di Milano*, Ottimizzazione dell'uso di riprese iperspettrali da aereo nella classificazione di differenti coperture mediante il confronto tra algoritmi tradizionali e reti neurali (2002);

- [14] Riccardo Beltramo: *Eetean*, Caratterizzazione di prodotti (2005).
- [15] M. Proust: *Folio classique*, À la recherche du temps perdu, tome 1: Du côté de chez Swann (1913);