

## LE RETI NEURALI NEL LABORATORIO CLINICO

M.Besozzi

Laboratorio di analisi chimico cliniche - Ospedale di Legnano (MI)

Ottobre 1992

-----

Il cervello umano e' una complessa rete biologica costituita da miliardi di cellule altamente interconnesse, i neuroni. Attraverso le loro connessioni i neuroni si scambiano informazioni: e il risultato globale e' rappresentato da un essere intelligente, in grado di apprendere, di riconoscere, di analizzare. Le reti neurali artificiali sono costituite da centinaia o migliaia di neuroni simulati, altamente interconnessi tra di loro come i neuroni cerebrali, e in grado di apprendere in un modo simile a quello delle persone. Scopo di questa nota e' di illustrare i principi di funzionamento delle reti neurali, e le loro possibili applicazioni nel laboratorio clinico, chiarendo anche il rapporto che intercorre, nell'ambito dell'intelligenza artificiale, tra il fenomeno nuovo delle reti neurali e strumenti gia' meglio consolidati quali i sistemi esperti.

### Dalla rete nervosa alle reti neurali

L'idea di realizzare reti neurali artificiali e' piuttosto recente. E non poteva essere altrimenti. Se infatti gli storici della neurologia sono d'accordo nell'attribuire a Sigmund Freud (1856-1939) il merito di avere descritto per primo, in un articolo del 1882, una struttura osservata nel sistema nervoso di invertebrati, molto vicina a quella che sara' poi chiamata sinapsi, e' solamente dopo la scoperta dei metodi di colorazione da parte di Camillo Golgi (1844-1926) e in seguito al gigantesco lavoro istologico di Santiago Ramon y Cajal (1852-1934) che la teoria del neurone viene definitivamente accettata (1). Si riconosce cosi' finalmente che il sistema nervoso centrale e' costituito da elementi nervosi indipendenti, uniti da punti di contiguita' (figura 1): e con Charles Sherrington (1861-1952), e con il concetto di sinapsi da lui introdotto, nasce finalmente la moderna neurofisiologia. Per le sue fondamentali ricerche Sherrington riceve il premio Nobel per la Medicina nel 1932. Diciassette anni dopo, nel 1949, Donald Hebb propone un meccanismo biologicamente plausibile per il fenomeno dell'apprendimento (2). In quella che diverrà nota come "la regola di Hebb" afferma che ogniqualvolta due neuroni sono eccitati contemporaneamente, le loro connessioni ne risultano rafforzate. I modelli attuali sono ovviamente di gran lunga piu' sofisticati di quello proposto da Hebb, e fanno ricorso a strumenti matematici complessi come l'algebra matriciale: tuttavia l'idea di base rimane la stessa. Nel 1958 Frank Rosenblatt propone il "perceptrone", da lui definito come "un modello probabilistico per il deposito delle informazioni e per l'organizzazione del cervello" (3). Il perceptrone, disegnato a somiglianza di un sensore biologico, impiega una combinazione di vari strati di neuroni aventi soglie di eccitazione, e una variante della regola di Hebb. Undici anni dopo, nel 1969, Marvin Minsky e Seymour Papert analizzano a fondo, in modo sistematico, potenzialita' e limiti del perceptrone, e concludono che vi e' una larga classe di problemi che non possono essere risolti mediante reti neurali di questo genere (4). In conseguenza di cio', negli Stati Uniti i finanziamenti vengono indirizzati sui progetti di ricerca nel campo dell'intelligenza artificiale basata su regole, proposta da Minsky e Papert come alternativa alle reti neurali. E' il trionfo della macchina di von Neumann, dell'elaborazione seriale, e dei sistemi esperti, che finiscono con il dominare la scena nel settore dell'intelligenza artificiale durante gli anni '70 e i primi anni '80. Ma nel 1982 John Hopfield pubblica un lavoro sulle reti neurali, nel quale dimostra come esse possano avere proprietà molto interessanti (5). Due sono le idee chiave, l'aggiunta di non-linearietà al sistema, sotto forma di feedback, e il concetto di una funzione di energia globale che caratterizza lo stato del sistema (quest'ultimo afferma che le soluzioni dei problemi occupano il livello energetico piu' basso disponibile). Il lavoro di Hopfield stimola di

nuovo le ricerche nel campo delle reti neurali. Nel frattempo, spazzati via i facili entusiasmi e le attese miracolistiche, la strada dell'intelligenza artificiale si mostra nella sua realta', ed appare come tutte le altre grandi avventure della ricerca scientifica: stimolante, ma difficile, e lunga da percorrere. E dopo il ridimensionamento delle aspettative nei sistemi esperti finalmente, nei primi anni '90, sistemi esperti e reti neurali non vengono piu' visti come soluzioni antitetiche, ma come strumenti complementari, come differenti approcci al problema dell'intelligenza artificiale, ciascuno con i suoi punti di forza, ma anche con le sue debolezze.

### I sistemi esperti

Un sistema esperto e' semplicemente un programma per calcolatore, ed e' costituito da due elementi fondamentali: una base delle conoscenze e un motore inferenziale (figura 2). La base delle conoscenze contiene la conoscenza teorica e la conoscenza euristica disponibili su uno specifico argomento. La conoscenza teorica e' quella di tipo tradizionale, contenuta nei libri di testo e nelle riviste specializzate. La conoscenza euristica e' quella di tipo empirico che si acquisisce praticando una professione, e che vede il suo punto ideale nella conoscenza dell'esperto. Ed e' dall'enfasi posta su questo aspetto della conoscenza che deriva il termine di "sistema esperto" (che alcuni preferiscono chiamare "sistema di supporto alla decisione medica"). La base delle conoscenze contiene le regole da applicare per la soluzione dei singoli problemi. La base delle conoscenze e' aperta verso il mondo esterno dal quale riceve, ad opera dell'esperto, attraverso un sistema di acquisizione della conoscenza, un continuo aggiornamento delle informazioni, onde evitare i fenomeni di obsolescenza delle stesse. Il motore inferenziale contiene la strategia di ricerca della soluzione. E' anch'esso aperto al mondo esterno, in quanto deve ricevere da parte dell'utilizzatore i fatti e i dati relativi ad uno specifico problema. Il motore inferenziale utilizza la base delle conoscenze per generare spiegazioni e consigli che restituisce all'utilizzatore. Il progetto del motore inferenziale costituisce una sfida ancora aperta per i ricercatori nel campo dell'intelligenza artificiale, e siamo ancora ben lontani dal poter dare una risposta definitiva alla domanda "come si deve usare la base delle conoscenze per risolvere il problema affrontato?".

Nel complesso la logica applicata dai sistemi esperti e' una logica di tipo deduttivo (top-down), nella quale le regole vengono applicate una alla volta, in modo sequenziale, fino ad arrivare alla soluzione del problema. Nella sua forma piu' elementare tale logica segue la struttura del tipo SE-ALLORA tipica del pensiero umano. Ecco un esempio (simulato) di regole applicate al riconoscimento dell'eziologia di infezioni batteriche:

SE	il microorganismo e' stato isolato dalle urine
E SE	e' un bastoncello gram-negativo
ALLORA SE	fermenta il lattosio
E SE	produce indolo
ALLORA	probabile Escherichia coli: confermare con prove ulteriori (rosso-metile, Voges-Proskauer, ureasi fenilalanina)

In una situazione caratterizzata dai seguenti fatti, segnalati dall'utilizzatore in risposta alle richieste del sistema:

fatto 1	il microorganismo e' stato isolato dalle urine
fatto 2	e' un bastoncello gram-negativo
fatto 3	fermenta il lattosio
fatto 4	produce indolo

il motore inferenziale, sulla base delle regole contenute nella base delle conoscenze e dei fatti (informazioni) forniti dall'utente, fara' scattare la conseguenza prevista (probabile E. coli...) e la presentera' nel suo dialogo con

l'utente. Ovviamente il processo puo' continuare con altre domande del sistema, che sulla base di altre regole fornira', in modo interattivo, altri consigli, e cosi' via.

In un altro tipo di approccio la conoscenza e' rappresentata mediante il formalismo delle reti semantiche, grafi in cui i nodi rappresentano le evidenze cliniche, mentre i segmenti che li uniscono rappresentano le connessioni di tipo causale o associativo.

In un terzo tipo di approccio le malattie e gli stati fisiopatologici sono caratterizzati ciascuno da un insieme (frame) di reperti, che viene confrontato con quello che caratterizza il paziente. I vari frame sono connessi tra di loro mediante nodi, a formare una rete che e' in grado di rappresentare la conoscenza sotto forma di strutture gerarchiche.

I sistemi esperti usati come supporto alla decisione medica e che pongono enfasi sui dati di laboratorio sono oramai numerosi. Fra di essi ricordiamo ABEL, un sistema esperto per la diagnosi dei disordini dell'equilibrio acido-base e dell'equilibrio elettrolitico; ANEMIA e CONSULT-I, entrambi per la diagnosi delle anemie; EMYCIN, un sistema esperto per la diagnosi delle leucemie; RED, per la diagnosi degli anticorpi anti-eritrocitari; PHEO-ATTENDING, per la diagnosi del feocromocitoma; EXPERT, per la diagnosi delle alterazioni a carico delle sieroproteine; PRO.M.D., per la diagnosi dei disturbi del metabolismo delle lipoproteine; LITHOS, per la diagnosi della composizione dei calcoli renali; EXPERT, per una razionale pianificazione delle richieste di analisi ai pazienti ambulatoriali; LIVER, in grado di differenziare le affezioni epatiche. Una review sull'argomento e' stata presentata recentemente da Winkel (6). Da segnalare a parte, in quanto recentissimo e per questo non incluso in tale review, il sistema esperto VALAB, sviluppato da Valdiguie' e collaboratori (7). Il sistema, che incorpora piu' di 4000 regole, e che e' operativo dal novembre del 1988, consente la validazione in tempo reale dei dati di laboratorio, e svolge quindi il compito equivalente alla validazione dei referti da parte del direttore del laboratorio.

#### Le reti neurali

La logica deduttiva (top-down) consente di passare dal generale al particolare. E' quello che accade, ad esempio, applicando la probabilita', lo strumento matematico che consente di derivare (deduzione) le caratteristiche del campione (il particolare) a partire da quelle della popolazione (il generale). La logica induttiva (bottom-up) consente di passare dal particolare al generale. E' quello che accade, per esempio, applicando la statistica inferenziale, lo strumento matematico che consente di derivare (induzione o inferenza) le caratteristiche della popolazione (il generale) a partire da quelle di un campione (il particolare).

Il meccanismo deduttivo simulato dai sistemi esperti richiede delle regole che, sulla base dei fatti forniti, vengono applicate una alla volta in sequenza fino ad arrivare ad una risposta. Il meccanismo induttivo simulato dalle reti neurali, richiede una certa massa di informazioni iniziali, quindi trae le conclusioni in un colpo solo. Un sistema deduttivo e' creato mediante fatti e regole. Un sistema induttivo viene addestrato mediante esempi.

Le reti neurali sono chip e/o calcolatori ad elevato parallelismo, e si collocano quindi agli antipodi del calcolatore, PC mini o mainframe che sia, cui siamo abituati, cioe' della macchina di Von Neumann, basata sulla logica binaria, nella quale programmi e dati sono memorizzati in zone ben distinte della memoria, e che opera tipicamente in maniera sequenziale. Tuttavia una rete neurale puo' essere simulata anche su un normale calcolatore seriale, mediante un opportuno software, anche se pagando uno scotto in termini di tempo di elaborazione, che in questo caso si allunga enormemente. La prima applicazione commerciale di un neurochip e' gia' disponibile. Prodotto dalla Intel, leader

mondiale nel campo dei microprocessori, e' un microsensore ottico che simula la retina dell'occhio umano, utilizzato per la lettura degli assegni bancari. Molto veloce, supera di gran lunga i migliori lettori attualmente disponibili, ed e' virtualmente in grado di non commettere errori.

Come gia' detto, nel calcolatore che utilizziamo abitualmente le istruzioni (il programma) e i dati sono memorizzati separatamente, in zone ben distinte della memoria. Le reti neurali non hanno invece istruzioni da eseguire ne' dati intermedi da generare e memorizzare. Il metodo di addestramento delle reti e il modo in cui i neuroni sono connessi determinera' il funzionamento della rete. Ad una serie parallela di dati in ingresso, corrispondera' una serie parallela di dati in uscita che riflette lo stato globale della rete dopo che essa ha raggiunto uno stato stabile. In una rete neurale la conoscenza non e' localizzata in un punto preciso, e non vi e' una zona di memoria separata per i dati. In una rete neurale l'informazione e' immagazzinata nella struttura stessa della rete.

### Struttura delle reti neurali

L'elemento costitutivo fondamentale di una rete neurale e' il neurone (figura 3). Un neurone e' un dispositivo in grado, sulla base di un certo numero di segnali in ingresso, di produrre un segnale in uscita. I segnali in ingresso, provenienti da altri neuroni, sono elaborati mediante la cosiddetta funzione di attivazione. I segnali positivi sono considerati di tipo eccitatorio, quelli negativi sono considerati di tipo inibitorio. La funzione di attivazione opera in modo concettualmente molto semplice: a ciascuno dei segnali in ingresso viene attribuito un peso, quindi i segnali vengono sommati. In alcuni modelli piu' complessi la funzione di attivazione utilizza anche il valore del segnale che il neurone presentava in uscita prima dell'applicazione in ingresso dei nuovi segnali. In questo modo il neurone e' un grado di auto-eccitarsi per cui, in presenza di segnali di eccitazione, il passaggio dallo stato inattivo a quello eccitato viene accelerato, mentre in mancanza di nuovi segnali di eccitazione, il passaggio dallo stato eccitato allo stato inattivo viene rallentato.

Il valore ottenuto mediante la funzione di attivazione viene quindi passato alla funzione di trasferimento, che ha lo scopo di generare il segnale in uscita. Le principali funzioni di trasferimento sono quella a soglia, quella lineare, quella lineare a soglia, quella sigmoidale (figura 4). La funzione di trasferimento a soglia e' una funzione del tipo tutto-o-nulla. Se il valore passato dalla funzione di attivazione supera una determinata soglia, la funzione di trasferimento fara' si che il neurone presentera' in uscita il valore 1. Se il valore passato dalla funzione di attivazione non supera tale soglia, il neurone presentera' in uscita il valore 0. La funzione di trasferimento lineare produce in uscita sul neurone un valore linearmente correlato con quello definito dalla funzione di attivazione. La funzione di trasferimento lineare con soglia si comporta come una funzione di trasferimento lineare all'interno di un intervallo ben definito di valori, e come una funzione di trasferimento a soglia al di fuori di essi. La funzione di trasferimento sigmoidale e' probabilmente la piu' importante funzione di trasferimento non lineare. Essa genera un valore che varia sempre meno, al variare del valore passato dalla funzione di attivazione, man mano che questo aumenta in valore assoluto.

In una rete neurale i singoli neuroni sono organizzati in strati (figura 5). Esistono tre tipi di strati: lo strato di ingresso, lo strato di uscita, e lo strato (o gli strati) intermedio (intermedi). I neuroni dello strato di ingresso ricevono i dati dal mondo esterno. I neuroni dello strato di uscita presentano il risultato dell'elaborazione dei dati da parte della rete neurale. I risultati possono essere semplicemente visualizzati, o essere direttamente utilizzati per il controllo di processi. Lo strato intermedio, o gli strati intermedi, comprendono i neuroni che collegano i due strati precedenti, quello di ingresso e quello di uscita.

## Modelli di reti neurali

In una rete neurale i neuroni sono connessi tra di loro, organizzati in strati. La connessione e' la linea di comunicazione che parte dal neurone che trasmette il segnale e arriva al neurone che lo riceve. Le connessioni che arrivano a un neurone possono essere di due tipi, eccitatorie e inibitorie. Ad esse corrispondono, come abbiamo visto in precedenza, segnali in ingresso al neurone di segno positivo e di segno negativo rispettivamente. Durante la fase di addestramento, la rete neurale va alla ricerca del tipo (eccitatorio o inibitorio) e del peso da assegnare alle connessioni tra i neuroni affinche' si ottengano i risultati previsti negli esempi che sono stati sottoposti alla rete stessa.

Dal punto di vista topologico una rete neurale deve pero' essere definita a priori. E si tratta di una decisione importante in quanto il modo in cui i neuroni sono connessi tra di loro ha un'effetto enorme sull'operativita' della rete. Dal punto di vista topologico le due fondamentali categorie di reti neurali sono rappresentate dalle reti di tipo feedback e da quelle di tipo feedforward. In una rete di tipo feedback (figura 6) il segnale in uscita da un neurone viene applicato all'ingresso di un'altro (retroazione). Nel tipo piu' frequentemente utilizzato di rete neurale a feedback, tutti i neuroni sono collegati in feedback tra di loro. Sono reti a feedback il modello proposto originariamente da Hopfield, il pioniere in questo campo, e la Memoria Adattativa Bidirezionale proposta da Kosko, nella quale i segnali vanno avanti e indietro dai due soli strati di neuroni che la compongono (strato di ingresso e strato di uscita) fino alla stabilizzazione del segnale, che corrisponde alla soluzione del problema. Come dice il loro stesso nome, caratteristica fondamentale delle reti feedforward (figura 7) e' quella di non prevedere le connessioni che consentono il meccanismo di retroazione (feedback). Il gia' citato perceptrone di Rosenblatt e' stato l'antesignano di tutti i successivi (e numerosi) modelli di reti feedforward. Tra questi, negli ultimi anni, quello che ha avuto maggior successo e' il modello di retropropagazione (back propagation). In questo modello la rete e' in grado di apprendere in quanto durante la fase di addestramento i segnali di errore vengono propagati all'indietro (dove il nome) allo scopo di correggere la rete stessa. La rete viene addestrata mediante la presentazione di esempi, per i quali sono noti sia i dati in ingresso sia i dati in uscita. L'errore del segnale, relativo a un neurone in uscita, e' rappresentato dalla differenza tra il valore effettivamente presente su quel neurone, e quello previsto nell'esempio presentato alla rete. L'errore del segnale viene propagato all'indietro, ed utilizzato per correggere, mediante un opportuno algoritmo, i pesi assegnati alle connessioni tra i neuroni in modo da evitare il ripetersi dell'errore al tentativo successivo. Il processo termina quando per tutti gli esempi forniti l'errore risulta nullo, quando cioe' la rete e' in grado di riconoscere correttamente tutti gli esempi presentati. A questo punto la rete e' stata addestrata, e puo' essere utilizzata per calcolare i dati in uscita nei casi per i quali siano noti solamente i dati in ingresso: in altre parole, per risolvere il problema per il quale era stata progettata e addestrata.

## Reti neurali e laboratorio clinico

Contrariamente ai sistemi esperti, l'utilizzo delle reti neurali come sistemi di supporto alla decisione medica e' solamente agli inizi (8). I due principali esempi di applicazione che si trovano descritti sono uno relativo alla diagnostica radiologica (9,10) e l'altro relativo all'interpretazione dei dati di laboratorio nella diagnosi dei tumori maligni del seno (11). Per quanto riguarda quest'ultimo, la rete neurale era costituita da nove neuroni in ingresso, quindici neuroni intermedi, e due neuroni in uscita. I nove neuroni in ingresso venivano utilizzati per introdurre nella rete i valori assunti dalle nove variabili prescelte: eta' del paziente, la concentrazione nel siero del colesterolo totale, del colesterolo HDL, dei trigliceridi, dell'apolipoproteina

A-I, dell'apolipoproteina B, dell'albumina, dell'antigene tumorale CA15-3, e l'indice di Fossel (misura dell'ampiezza delle righe dei gruppi metilene e metile nello spettro di risonanza magnetica nucleare protonica). I due neuroni in uscita presentavano i valori di probabilita' (compresa tra 0 e 1) per lo stato di malattia (presenza di tumore maligno del seno) e per lo stato di non malattia (assenza di tumore maligno). La rete neurale era quindi addestrata mediante la presentazione dei dati relativi a 57 pazienti, di cui 23 con tumore maligno al seno e 34 con affezioni benigne. Per ognuno di questi 57 pazienti erano presentati alla rete i valori delle nove variabili prescelte e la probabilita' di appartenere all'uno o all'altro gruppo (in questo caso la probabilita' era ovviamente pari a 1, trattandosi di pazienti per i quali la diagnosi era nota a priori, ed era una diagnosi di certezza). Al termine dell'addestramento, dopo avere scorso per 697 volte consecutive i dati relativi a questi 57 pazienti, la rete era in grado di classificare correttamente tutti i pazienti. Successivamente erano presentati alla rete i soli dati di ingresso relativi a un gruppo di 20 pazienti (controlli) per i quali la diagnosi era peraltro comunque certa. La diagnosi effettuata dalla rete era considerata corretta quando il valore di probabilita' fornito dal neurone che corrispondeva alla diagnosi corretta era superiore al 95% ( $p > 0,95$ ), e quello fornito dal neurone che corrispondeva alla diagnosi non corretta era inferiore al 5% ( $p < 0,05$ ). In questo gruppo di 20 pazienti la rete era in grado di predire la diagnosi corretta nell'80% dei casi. Un ottimo risultato, se si pensa che mediante l'analisi della funzione discriminante quadratica, uno dei piu' potenti metodi dell'analisi multivariata, veniva diagnosticato correttamente il 75% dei casi. Nel frattempo nel nostro laboratorio e' stato avviato un programma di ricerca relativo all'applicazione delle reti neurali alla soluzione di problemi di correlazione e di classificazione di interesse nel campo del laboratorio clinico. Il problema piu' interessante per ora ci sembra essere quello rappresentato dalla classificazione delle talassemie e delle anemie sideropeniche, che sara' oggetto di un lavoro a parte, e per il quale siamo gia' arrivati, con casistiche assai piu' ampie di quelle riportate da Wilding, a percentuali di corretta classificazione vicine al 90%.

## Conclusioni

L'entusiasmo esagerato che per anni aveva circondato l'intelligenza artificiale si e' ormai spento, e la moda e' passata. Perfino i giapponesi hanno gettato la spugna. In dieci anni hanno investito centinaia di miliardi di lire sui "computer di quinta generazione" ma alla fine Kazuhiro Fuchi, il direttore del progetto, ha ammesso di non essere riuscito a dotarli di un software che li avvicinasse di un solo millimetro alla mente umana. Categorico anche, in una intervista comparsa recentemente, Tomaso Poggio, dell'Artificial Intelligence Laboratory del famoso Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Cambridge, negli USA: "Oggi...sappiamo quanto siano sofisticati anche i piu' semplici organismi viventi e quanto siano complessi i problemi di elaborazione dell'informazione che vengono continuamente risolti dai nostri sensi. Cominciamo anche a renderci conto della incredibile difficolta' di generare del software decente e di quanto ce ne vorrebbe per riprodurre in un computer aspetti anche minori dell'intelligenza di un mollusco". Capire l'intelligenza e riprodurla nelle macchine e' uno dei quattro grandi problemi scientifici con cui si sta confrontando l'umanita', insieme al problema dell'origine della vita, della struttura della materia e dell'origine dell'universo. Sarebbe stato molto strano se si fosse potuto risolvere completamente questo problema nel breve tempo di una generazione. Tuttavia il lavoro fatto non e' stato inutile, e se non sono certamente intelligenti, i sistemi esperti hanno dimostrato, quando correttamente realizzati e appropriatamente impiegati, di potere essere di supporto alla soluzione di problemi di vario genere. Le reti neurali hanno a loro volta dato un contributo importante: quello di sottolineare con forza l'importanza dell'apprendimento. Anche esse sono ben lontane dall'essere in qualche modo intelligenti. Tuttavia vi sono indizi che fanno ritenere opportuno verificare la possibilita' di un loro impiego nella soluzione di problemi

limitati ma che hanno comunque una rilevanza pratica nel settore del laboratorio clinico.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Mancia M. *Fisiologia del sistem nervoso*. Milano: Raffaello Cortina Editore, 1985.
2. Hebb D. *The organization of behaviour*. New York: Wiley Publications, 1949.
3. Rosenblatt F. *The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain*. *Psychological Review* 1958;65:386-408.
4. Minsky M, Papert S. *Perceptrons*. Cambridge: MIT Press, 1969.
5. Hopfield JJ. *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1982;79:2554-58.
6. Winkel P. *The application of expert systems in the clinical laboratory*. *Clin Chem* 1989;35:1595-600.
7. Valiguie' PM, Rogari E, Philippe H. *VALAB: expert system for validation of biochemical data*. *Clin Chem* 1992;38:83-7.
8. Chicchetti DV. *Neural networks and diagnosis in the clinical laboratory: state of the art*. *Clin Chem* 1992;38:9-10.
9. Boone JM, Gross GW, Greco-Hunt V. *Neural networks in radiologic diagnosis. I. Introduction and illustration*. *Invest Radiol* 1990;25:1012-6.
10. Gross GW, Boone JM, Greco-Hunt V, Greenberg B. *Neural networks in radiologic diagnosis. II. Interpretation of neonatal chest radiograph*. *Invest Radiol* 1990;25:1017-23.
11. Astion ML, Wilding P. *Application of neural networks to the interpretation of laboratory data in cancer diagnosis*. *Clin Chem* 1992;34:34-8.

#### SUMMARY

A neural network consists of hundreds or thousands of simulated neurons, that are connected in much the same way as the brain's neurons. Neural networks are able to learn. They all share the ability to find a solution by making associations between known inputs and outputs by observing a large number of examples. In this paper neural networks are reviewed and discussed as new tools in computer-supported medical decision making in the clinical laboratory.

#### RIASSUNTO

Una rete neurale consiste in centinaia o migliaia di neuroni simulati, connessi tra di loro in modo analogo a quanto avviene per i neuroni cerebrali. Le reti neurali sono capaci di apprendimento. E hanno la capacità di trovare soluzioni mediante processi di tipo associativo quando viene loro presentato un sufficiente numero di esempi. Nel presente lavoro si discute delle reti neurali come nuovi strumenti per la decisione medica assistita dal computer nel laboratorio clinico.

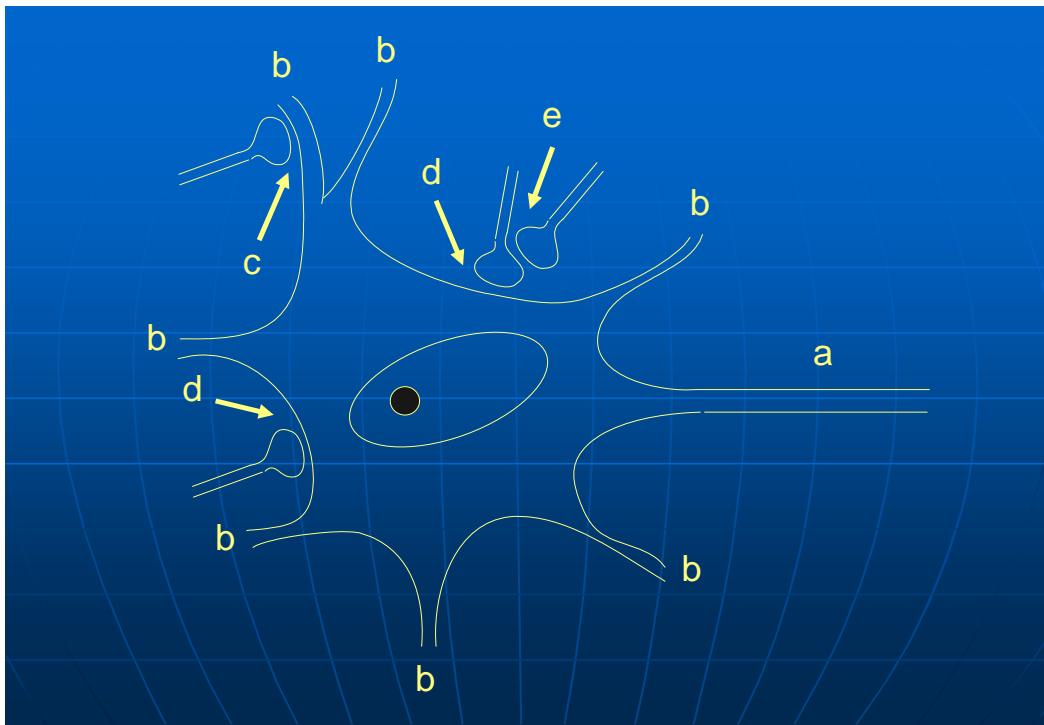


Figura 1. Schema delle connessioni del neurone: (a) assone; (b) dendriti; (c) sinapsi axo-dendritica; (d) sinapsi axo-somatiche; (e) sinapsi axo-axonica.

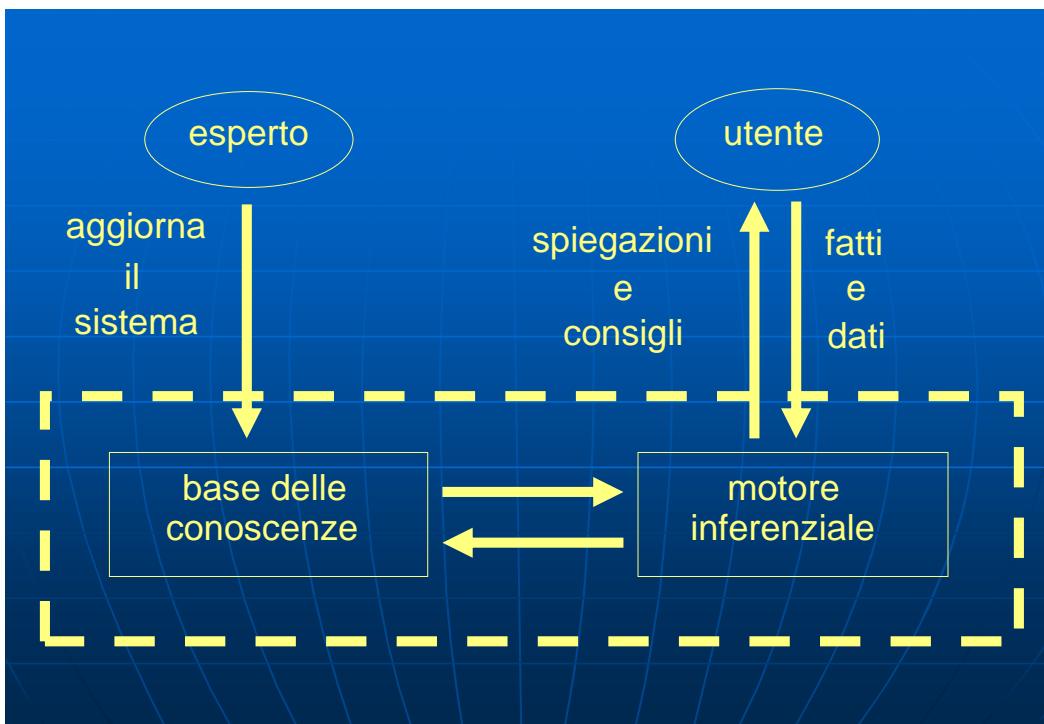


Figura 2. Un sistema esperto e' costituito da due moduli. I primo modulo e' la base delle conoscenze, che viene periodicamente aggiornata dall'esperto. I secondo e' il motore inferenziale, al quale l'utente comunica i fatti e i dati disponibili, e che a sua volta restituisce all'utente spiegazioni e consigli sulla base dell'esperienza (regole) contenuta nella base delle conoscenze.

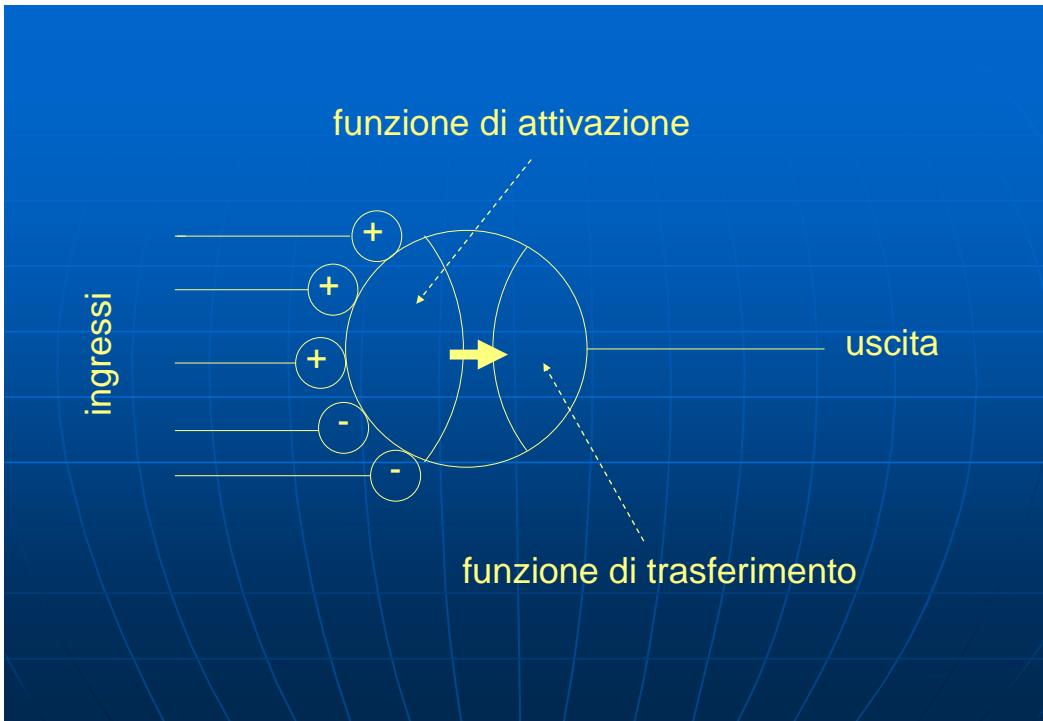


Figura 3. Schema del neurone artificiale. I segnali in ingresso vengono integrati dalla funzione di attivazione. La funzione di trasferimento riceve il segnale generato dalla funzione di attivazione, e lo invia all'uscita del neurone dopo averlo opportunamente modificato.

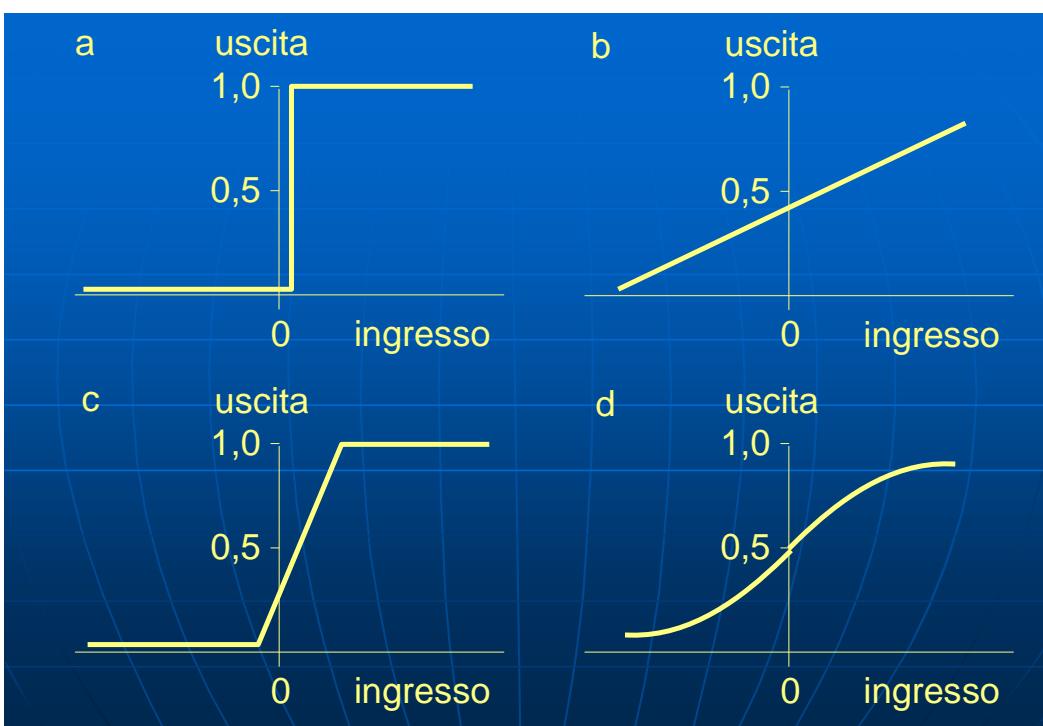


Figura 4. Le principali funzioni di trasferimento impiegate nei neuroni artificiali: (a) funzione a soglia; (b) funzione lineare; (c) funzione lineare a soglia; (d) funzione sigmoidale.

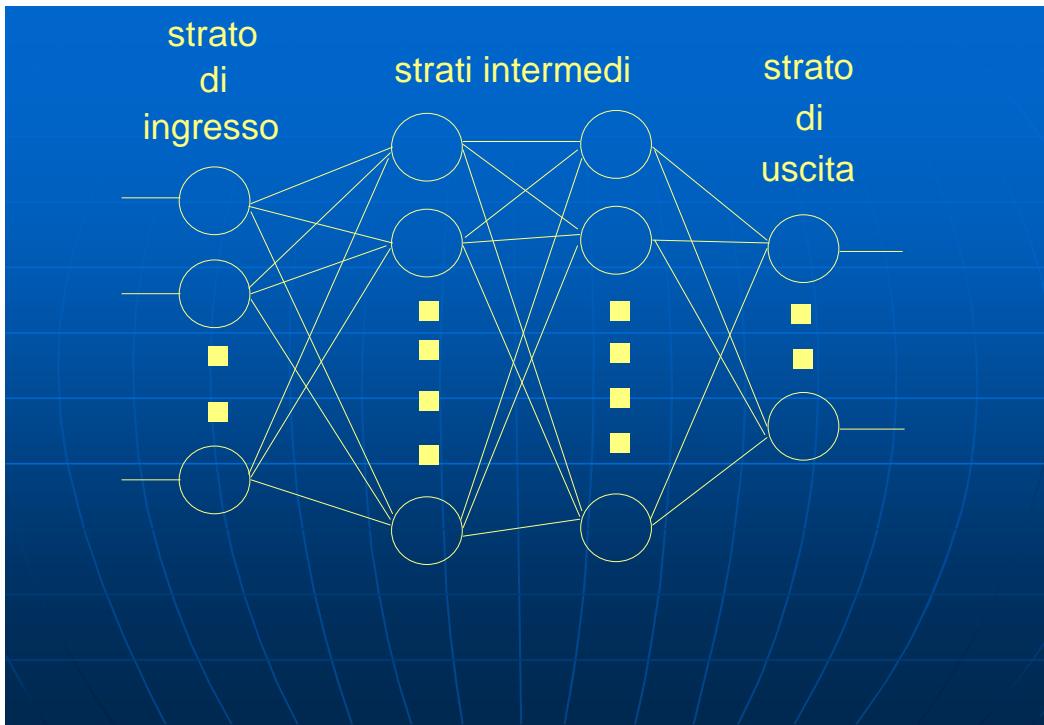


Figura 5. I modelli di reti che attualmente godono di maggiore fortuna prevedono uno strato di ingresso, dal quale vengono immessi i dati, uno strato di uscita, sul quale viene presentata la risposta della rete neurale, e uno o piu' strati intermedi, che risultano invisibili all'utente.

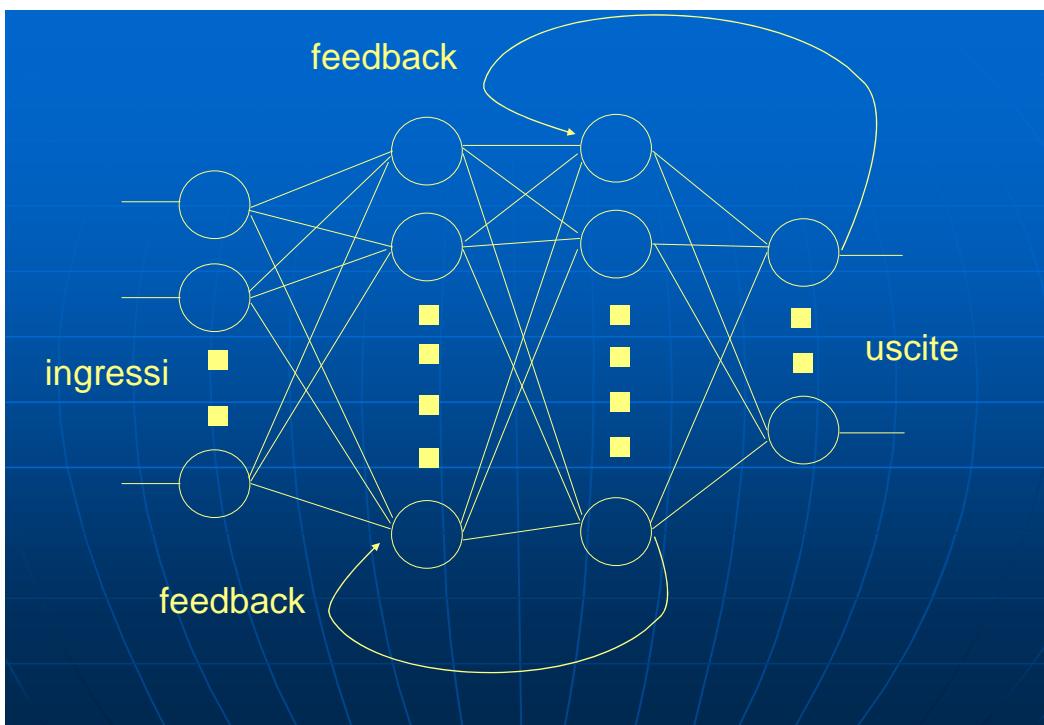


Figura 6. Nelle reti di tipo feedback l'uscita dei neuroni di uno strato viene collegata con l'ingresso dei neuroni dello strato precedente.

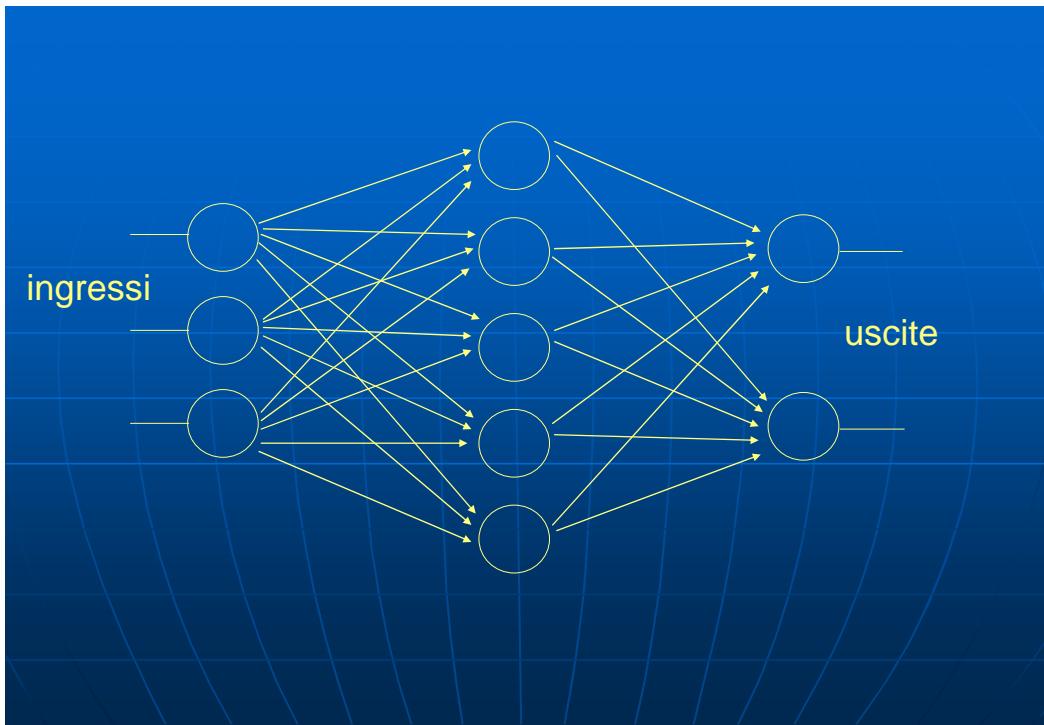


Figura 7. Nelle reti di tipo feedforward il collegamento tra i neuroni avviene solamente in avanti, procedendo dai neuroni di ingresso verso quelli di uscita.