

**ALMA MATER STUDIORUM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA
BIOMEDICA**

TITOLO DELLA TESI

**MODELLI DI MEMORIA SEMANTICA E LESSICALE:
STUDIO E ANALISI DI MECCANISMI DI
APPRENDIMENTO, DANNEGGIAMENTO E PRIMING**

Tesi in
Sistemi Neurali LM

Relatore

Prof. Mauro Ursino

Presentata da

Carmela Zambri

Correlatrice

Dott.essa Eleonora Catricalà

Sessione III

Anno accademico 2015/2016

Alla mia Famiglia.

INDICE

INTRODUZIONE.....	6
-------------------	---

Capitolo 1

1 LA MEMORIA.....	9
1.1 Memoria semantica.....	14
1.1.2 Controllo semantico.....	16
1.2 Modelli di memoria semantica.....	16
1.2.1 Modelli confessionisti.....	20
1.3 Priming.....	23
1.4 Concetti e creazioni categorie.....	25
1.5 Apprendimento Hebbiano.....	28

Capitolo 2

2 INTRODUZIONE AL MODELLO	
2.1 Modello bidimensionale.....	31
2.2 Modello unidimensionale.....	32
2.2.1 Descrizione matematica.....	34
2.2.2 Ingresso rete semantica.....	35
2.2.3 Ingresso rete lessicale.....	36
2.3 ADDESTRAMENTO DELLA RETE	
2.3.1 Equazioni del modello.....	37
2.3.2 Assegnazione parametri-apprendimento rete semantica.....	41
2.3.3 Assegnazione parametri-apprendimento rete lessicale.....	44
2.3.4 Limiti nell'uso della soglia post-sinaptica fissa.....	46

2.4 Apprendimento con soglia variabile.....	47
---	----

Capitolo 3

3 METODO

3.1 Scelta dei dati.....	50
3.2 Fasi dell'addestramento.....	52

Capitolo 4

4 MODELLO ANIMALI

4.1 Tassonomia animali.....	55
4.1.1 Parametri.....	58
4.2 Risultati.....	59
4.2.1 Addestramento semantico (fase 1).....	59
4.2.2 Addestramento lessicale (fase 2).....	62
4.2.3 Simulazione di compiti di denominazione dei concetti.....	68
4.3 Limiti del modello.....	70

Capitolo 5

5 MODELLO OGGETTI

5.1 Tassonomia oggetti.....	73
5.1.1 Parametri.....	77
5.2 Risultati.....	77
5.2.1 Addestramento semantico (fase 1).....	77
5.2.2 Addestramento lessicale (fase 2).....	82

5.2.3 Simulazione di compiti di denominazione dei concetti.....	88
5.3 Limiti del modello.....	91

Capitolo 6

6 MODELLO DANNEGGIATO

6.1 Danneggiamento sinapsi.....	94
6.1.1 Modello animale.....	94
6.1.2 Modello oggetti.....	98
6.1.3 Variazione della percentuale di danno sinaptico.....	101
6.2 Danneggiamento neurone.....	104

Capitolo 7

7 MODELLO UNICO.....107

7.1 Risultati.....	111
7.1.1 Addestramento semantico (fase 1).....	111
7.1.2 Addestramento lessicale (fase 2)	119
7.2 Limiti del modello.....	130

Capitolo 8

8 PRIMING.....132

CONCLUSIONE.....138

RINGRAZIAMENTI.....141

BIBLIOGRAFIA.....143

INTRODUZIONE

La memoria semantica, e la sua correlazione con il linguaggio, sono alla base di molti studi di neuroscienze cognitive e della formulazione di diverse teorie volte a comprendere la loro organizzazione, le unità neurali coinvolte e i meccanismi di apprendimento. Nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi modelli teorici (matematici e qualitativi) con lo scopo di analizzare e studiare i meccanismi alla base della memoria semantica. È grazie a questi modelli che si può cercare di comprendere come la conoscenza del significato di parole e concetti sia immagazzinata nel sistema nervoso e successivamente utilizzata.

In questo lavoro di tesi è stato utilizzato un modello neurale, che comprende una rete semantica e una lessicale, e che sfrutta la regola di Hebb per addestrare le sinapsi. Il principio alla base di tale modello è che la semantica di un concetto è descritta attraverso una collezione di proprietà, che sintetizzano la percezione del concetto e la sua successiva codifica nelle diverse regioni corticali. Gli aspetti semantici e lessicali sono memorizzati in regioni separate del cervello, ma reciprocamente connessi sulla base dell'esperienza passata, secondo un meccanismo di apprendimento fisiologico. Nella rete semantica ogni neurone codifica una proprietà, mentre ogni neurone nella rete lessicale codifica una word-form associata alla rappresentazione di un dato concetto.

Durante l'addestramento ogni concetto riceve in ingresso una alla volta delle proprietà con una data probabilità; queste proprietà possono essere distintive, proprie del concetto, oppure condivise tra più concetti e ciò porta alla formazione delle categorie. Le proprietà sono ulteriormente distinte in dominanti e marginali. Una proprietà dominante è una proprietà che viene subito in mente quando si pensa ad un concetto, ed è frequentemente nominata durante compiti cognitivi in cui al soggetto è

chiesto di elencare le proprietà di un dato concetto; pertanto essa gioca un ruolo centrale nella rappresentazione concettuale. Diversamente, una proprietà marginale non viene evocata nella memoria quando si pensa ad un concetto, ma facilita il riconoscimento di tale concetto quando è data come input.

Lo scopo di questo lavoro di tesi è quello di estendere un modello sviluppato in anni precedenti (*Ursino et al., 2015*) e, attraverso di esso, analizzare criticamente i meccanismi di apprendimento, danneggiamento e priming. Sono stati utilizzati tre diverse reti per simulare, rispettivamente, una tassonomia di concetti di animali, una di concetti di oggetti artificiali e infine l'unione di entrambe.

La descrizione dei singoli concetti è stata ricavata da un database fornito dal Dipartimento di Neuropsicologia del San Raffaele di Milano (Dott.ssa Eleonora Catricalà). I primi due modelli sono descritti da un numero diverso di concetti (12 animali e 11 oggetti) e ogni concetto è stato descritto da un numero diverso di proprietà, mantenendo però, un certo equilibrio tra proprietà dominanti e marginali. Le differenze nel numero di proprietà giocano un ruolo essenziale nella memoria semantica, ad esempio nelle simulazione del comportamento di soggetti con deficit semantici, e nella stessa formazione di categorie.

Un aspetto molto importante nella descrizione dei modelli è l'utilizzo di una soglia post-sinaptica variabile che dipende dal numero di volte in cui si è verificata la caratteristica pre-sinaptica. Questo comporta, che dopo l'addestramento, una proprietà marginale non venga spontaneamente evocata, al contrario una proprietà dominante venga evocata spontaneamente. Inoltre, il concetto di dominanza diviene diverso per le proprietà distintive e per quelle condivise, ed è possibile evitare che una proprietà condivisa da molti membri della stessa categoria (come "vola"

per gli uccelli) divenga dominante e sia attribuita erroneamente all'intera categoria.

In questo lavoro di tesi viene, inoltre, simulato il danneggiamento della rete neurale sia a livello sinaptico che a quello del singolo neurone. Nel danneggiamento a livello sinaptico si è osservato che aumentando la percentuale di danno alla singola sinapsi il modello tende a perdere le proprietà distintive del concetto, mantenendo quelle condivise associate alle categorie. Nel danneggiamento a livello dei neuroni, invece, se sono danneggiate una o più proprietà distintive dominanti, il modello non è in grado di richiamare la word-form corrispondente; se invece sono danneggiate una o più proprietà distintive marginali la word-form viene richiamata.

Infine è stato simulato il fenomeno di priming. A tale scopo viene fornita in ingresso una word-form, che viene ritirata dopo un breve periodo di tempo, per evitare che la rete si assesti in un suo punto di equilibrio; mentre la rete è ancora in una condizione di eccitazione, viene data in ingresso una nuova word-form sulla quale si calcola il tempo necessario affinché le sue proprietà vengano evocate correttamente nella rete semantica (e quindi il significato della parola venga riconosciuto). I risultati mostrano come il tempo di riconoscimento della seconda parola dipenda dal grado di somiglianza fra la prima e la seconda parola usate durante la simulazione.

La tesi è articolata nel modo seguente. Dopo una breve panoramica sul significato di memoria (*Cap.1*), discuteremo e analizzeremo gli aspetti qualitativi e matematici del modello (*Cap.2,3*), affronteremo delle simulazioni su alcuni casi esemplari, con lo scopo di indagare i limiti del modello e cercare soluzioni per superarli (*Cap. 4 -8*).

Il modello ha fornito risultati assai buoni in tutte le condizioni testate.

Capitolo 1

1 LA MEMORIA

La **memoria** è la capacità da parte del cervello di conservare traccia degli stimoli esterni sperimentati e delle relative risposte. In particolare, con riferimento all'uomo (nel quale tale funzione raggiunge la più elevata organizzazione), la memoria indica sia la capacità di mantenere traccia di informazioni relative a eventi, immagini, sensazioni, idee, ecc. di cui si sia avuto esperienza e di rievocarle sotto forma di ricordo quando lo stimolo originario è cessato, sia di apprendere comportamenti appropriati sulla base di passate esperienze di premi-punizioni. La memoria può essere trattata, in maniera complementare, studiando i processi neurofisiologici associati presenti nel cervello e quelli psicologici, cioè dal punto di vista soggettivo intrapersonale.

La memoria è presente, a vari livelli, in tutti gli esseri animali; la sua importanza primaria sta nel fatto che non esiste alcun tipo di azione o condotta senza memoria (ad esempio nella condotta sociale, oppure nei fenomeni di rinforzo nell'apprendimento animale). Si può considerare inoltre la memoria come una delle basi che rendono possibile la conoscenza umana e animale, proprio in virtù della capacità di apprendimento, assieme ad altre funzioni mentali quali elaborazione, ragionamento, intuizione, coscienza. I processi mnemonici fondamentali sono di tre tipi:

- *Acquisizione e codificazione*: ricezione dello stimolo e traduzione in rappresentazione interna stabile e registrabile in memoria. Lavoro di categorizzazione ed etichettatura legato agli schemi e alle categorie preesistenti.

- *Ritenzione ed immagazzinamento*: stabilizzazione dell'informazione in memoria e ritenzione dell'informazione stessa per un determinato lasso di tempo.
- *Recupero*: riemersione a livello della consapevolezza dell'informazione precedentemente archiviata, mediante “richiamo” (recupero mnestico diretto, senza stimoli di facilitazione) o “riconoscimento” (procedura cognitivamente più semplice, in cui il recupero è mediato da uno stimolo associativo, per cui è sufficiente riconoscere l'elemento precedentemente codificato, presente all'interno di una serie di stimoli proposti).

Si possono classificare i tipi di memoria in base ad almeno due criteri:

- La persistenza del ricordo.
- Il tipo di informazioni memorizzate.

Dal punto di vista psicologico la memoria, detta anche *funzione mnestica*, non risulta necessariamente stabile a parità di contenuti o classi di stimoli ed è influenzata da elementi affettivi (come emozione e motivazione), oltre che da elementi riguardanti il tipo di informazione da ricordare. Questa funzione psichica si delinea dunque come un processo legato a molti fattori, sia cognitivi che emotivi, e come un processo eminentemente attivo (e quindi non, o almeno non solo, un processo automatico o incidentale). Il processo mnestico si configura dunque come un percorso dinamico di ricostruzione e connessione di rappresentazioni, piuttosto che come un semplice “immagazzinamento” di dati in uno spazio mentale statico.

Possiamo classificare la memoria in base alla durata della ritenzione del ricordo, identificando tre tipi distinti di memoria: la *memoria sensoriale*, la *memoria a breve termine*, e la *memoria a lungo termine*.

Memoria a breve termine (STM, Short Term Memory) : Mantiene l'informazione "on-line" per brevi intervalli di tempo (secondi), mentre vengono svolte alcune operazioni cognitive. Ha capacità limitata.

La memoria a breve termine può essere suddivisa in:

- la *memoria di lavoro* (in inglese *Working Memory*, o *WM*), che contiene informazioni che vengono tenute in mente per uno scopo.
- la *memoria iconica*, una tipologia di memoria sensoriale che viene sperimentata quando uno stimolo visivo, pur essendo terminato, continua a persistere per qualche istante.
- la *memoria ecoica* una tipologia di memoria sensoriale che viene sperimentata quando uno stimolo uditivo, pur essendo terminato, persiste per qualche istante.

Memoria a lungo termine (LTM, Long Term Memory): Mantiene l'informazione "off-line" per lunghi intervalli di tempo (minuti, ore, giorni o anni).

La memoria a lungo termine può essere suddivisa in:

- Memoria *dichiarativa* (o *esplicita*), riguarda le informazioni comunicabili, che vengono richiamate consciamente.
- Memoria *procedurale* (o *implicita*), riguarda le informazioni relative a comportamenti automatici, di cui il soggetto non è in grado di descrivere il contenuto memorizzato. Entra in gioco quando esperienze precedenti facilitano la prestazione di un compito che non richiede la rievocazione consapevole di quelle esperienze.

La memoria procedurale riguarda soprattutto le abilità motorie e fonetiche, che vengono apprese con il semplice esercizio e utilizzate senza controllo attentivo volontario.

La memoria dichiarativa, a sua volta, viene suddivisa in:

- *Memoria episodica*: memoria di singoli episodi della vita del soggetto. Si tratta di episodi non condivisi con gli altri, per cui sono rilevanti le caratteristiche individuali e i particolari trovati (ad esempio vedere un gatto che compie una certa azione).
- *Memoria semantica*: memoria condivisa con gli altri e indipendente dal contesto. Ad esempio il concetto di gatto è memorizzato in generale, si memorizza tutto ciò che i gatti hanno in comune, non i dettagli individuali di un gatto rispetto a un altro, quindi è una rappresentazione non contestualizzata che dovrebbe essere il più possibile vicina all'idea di gatto che ha un'altra persona. Si cerca dunque di creare uno stereotipo di un concetto.

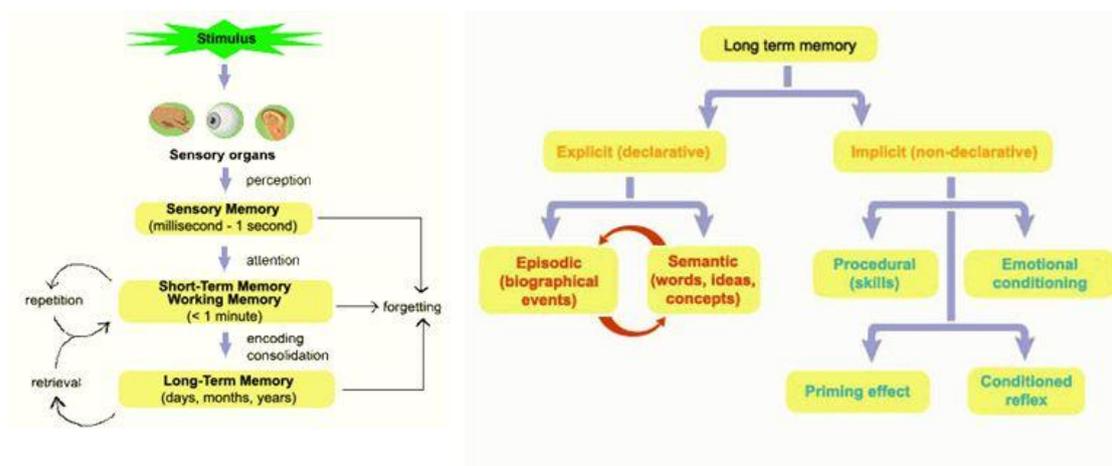


Fig.1.1: Classificazione della memoria.

Le due memorie (episodica e semantica) sono tenute in parti distinte del cervello ma non lontane, poiché devono poter comunicare tra loro.

Oggi possiamo dire che nei due tipi di memoria (dichiarativa e procedurale) sono implicate aree cerebrali diverse. Questa concezione deriva principalmente dall'analisi delle dissociazioni funzionali dei processi di memoria osservate nei pazienti divenuti amnesici in seguito a lesione cerebrale focale. Essendo quindi localizzate in aree diverse del cervello, le due memorie non sono soggette a processo degenerativo nello stesso momento. Mentre la memoria dichiarativa si situa principalmente nella corteccia cerebrale (o neocorteccia, in particolare quella temporale), nella memoria procedurale sono implicate le strutture sottocorticali, in particolare per il suo consolidamento sono impiegati le strutture corticali il nucleo dorsomediale del talamo, i corpi mamillari e il fornice.

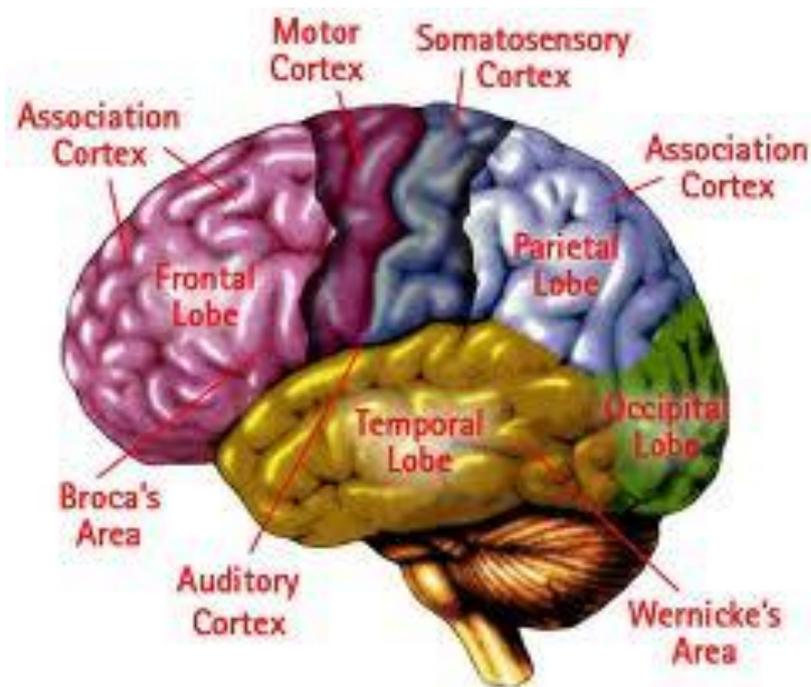


Fig.1.2: Rappresentazione delle strutture cerebrali coinvolte nei processi mnemonici.

1.1 Memoria semantica

La **memoria semantica** è la parte della memoria dichiarativa che riguarda le conoscenze generali sul mondo. Non è personale ma comune a tutti. È il magazzino della memoria a lungo termine specializzato nell'acquisire informazioni su fatti, episodi e conoscenze astratte sul mondo. La memoria semantica è accessibile alla coscienza. Una tipica prestazione di memoria semantica è la capacità di descrivere verbalmente le caratteristiche di un oggetto conosciuto, di un luogo in cui si è svolta una certa esperienza, oppure di esprimere i vissuti soggettivi. *Tulving (1982)* per primo ha introdotto il termine "memoria semantica" per identificare un tipo di memoria dichiarativa che comprende concetti su oggetti, indipendentemente dal contesto e culturalmente condivisa.

I concetti della memoria semantica sono importanti elementi costitutivi della conoscenza umana. Essi sono la base per il riconoscimento di oggetti, la pianificazione delle azioni, il linguaggio e il pensiero, perché costituiscono il significato degli oggetti, eventi e idee astratte. I concetti hanno un ruolo centrale nel trattamento delle informazioni perché aiutano a interfacciare la percezione (raccolta di informazioni dall'ambiente) e l'azione (emissione informazioni per l'ambiente). I concetti forniscono la conoscenza semantica per la comprensione della comunicazione verbale. Quando si parla di "conoscenza semantica", ci si riferisce a una rappresentazione concettuale sistematicamente legata alle parole, le loro parti significative, o costruzioni composte da più parole. È ben noto che i concetti sono la somma delle nostre esperienze sensoriali e motorie con l'ambiente. Per esempio, il concetto di "gatto" comprende le informazioni: "ha quattro zampe", "è peloso", "miagola". I concetti si riferiscono a categorie di oggetti, eventi o idee, perché sono rappresentazioni concettuali generalizzate attraverso esempi e situazioni specifiche, nelle

quali abbiamo incontrato il concetto in passato (ad esempio, esemplari specifici di gatti). I concetti della memoria semantica non hanno uno specifico riferimento spazio-temporale, al contrario, la memoria episodica memorizza singole esperienze del passato che sono accadute in un tempo specifico in un luogo specifico.

La cognizione semantica può essere scomposta in tre componenti principali interattive costituite da reti neurali separabili:

- semantica di ingresso/uscita, vale a dire di traduzione tra sensazione o azione motoria e conoscenza semantica;
- la rappresentazione a lungo termine di concetti ;
- meccanismi di controllo che interagiscono con la vasta quantità di conoscenza semantica al fine di generare un comportamento appropriato.

Ogni compito della semantica richiede una combinazione variabile di tutti i tre componenti. Di conseguenza, quando uno di essi è compromesso (dopo danni neurologici o stimolazione cerebrale transitoria), al soggetto verranno a mancare delle valutazioni semantiche e la qualità della loro perdita può variare.

Il ruolo delle rappresentazioni sensoriali e motorie nella costruzione dei concetti ha sempre creato un vivace dibattito, partendo dai filosofi greci, come Platone, per arrivare a filosofi più moderni come Leibniz e Kant. Queste riflessioni filosofiche riguardanti il ruolo delle rappresentazioni sensoriali e motori per stabilire i concetti vanno di pari passo con il dibattito esistente nelle neuroscienze contemporanee.

1.1.2 Controllo semantico.

L'attività della rete semantica deve essere controllata per garantire che il sistema generi rappresentazioni e deduzioni che sono adatte al compito o al contesto. Alcune attività possono richiedere che vengano accentuati significati subordinati, focalizzando l'attenzione sulle caratteristiche non dominanti. Il controllo della cognizione semantica è implementato su una rete neurale distribuita che interagisce con la rete per la rappresentazione semantica, dalla quale però è separato. Il controllo cognitivo svolge un lavoro di supporto alla rete semantica. In contesti sani, dove l'informazione rilevante è codificata in modo robusto, la rete ha bisogno di piccolo input dal controllo semantico per produrre la risposta corretta. Nei contesti danneggiati, invece, il recupero delle informazioni, che vengono codificate debolmente, dipende maggiormente dalla rete di controllo.

1.2 Modelli di memoria semantica.

La prima teoria più influente della rappresentazione concettuale sviluppata in psicologia cognitiva e nell'intelligenza artificiale è che un concetto è rappresentato come un nodo all'interno di una rete semantica unitaria (Collins e Loftus, 1975). Ogni nodo concettuale è collegato ad altri nodi, che rappresentano i concetti. Questa struttura di nodi collegati all'interno della rete fornisce conoscenza in maniera simbolica esplicita. In altre parole, ogni nodo porta un'etichetta che specifica il contenuto particolare. Ogni concetto viene assegnato a uno specifico nodo di rappresentazione, che è distinto dalle rappresentazioni senso-motorie. Questo modello di rete semantica è un classico esempio di *modello localizzato*. Questa rappresentazione si traduce necessariamente in concetti stabili, che sono invarianti nelle situazioni. Le informazioni sono

mantenute in memoria semantica in un formato amodale, slegato cioè dalle informazioni sensoriali-motorie delle entità rappresentate. Inoltre, secondo tali modelli, la rappresentazione prescinde dalla particolare situazione in cui l'elemento può trovarsi nel mondo reale.

I modelli di rete semantica classici apparvero non soddisfacenti per molti ricercatori a causa di una mancanza di flessibilità concettuale. Per questo motivo, sono stati sviluppati *modelli di memoria semantica distribuiti*, in cui i concetti sono codificati da più unità di rappresentazione. I concetti sono pensati per essere formati da più unità di rappresentazione semplici, il cui contributo ad un concetto può variare in funzione del contesto, fornendo quindi la base per la flessibilità concettuale. In questi modelli un concetto è costituito da un insieme di attributi. Per esempio, il concetto di “gatto” è costituito dalle caratteristiche “testa”, “quattro zampe”, “coda”, “peloso”, “si muove”, “miagola” e “mangia i topi”.

In altri modelli, che approfondiscono l'elaborazione distribuita in parallelo (PDP) o quadro connessionistico della cognizione, le rappresentazioni concettuali dipendono da un pattern di attivazione di tutte le unità di elaborazione simili ai neuroni all'interno di una sezione di rete, un cosiddetto "layer". La conoscenza concettuale non è esplicitamente rappresentato in forma di caratteristiche simboliche (come “testa” o “quattro zampe”) o nodi singoli, ma viene recuperata mediante la propagazione di attivazione tra le unità di lavoro, che sono collegate in una rete. I pesi delle connessioni tra le unità di elaborazione all'interno della rete sono modellati dall'esperienza e regolati in base ad algoritmi di apprendimento.

Le teorie *modality-specific* descrivono un sistema di memoria costituito da sottosistemi distinti che sezionano lo spazio semantico a priori, per esempio in animali, frutta, attrezzi, ecc.. Secondo questo punto di vista,

l'evoluzione cognitiva si è formata su aree cerebrali specializzate, che contengono la conoscenza al fine di avere una rapida identificazione degli oggetti. Il dominio concettuale è localizzato nella corteccia temporale anteriore sinistra. Secondo questa teoria, i concetti vengono assunti “incarnati”, nel senso che le interazioni con altri individui e con gli oggetti rievocano tracce di memoria in aree cerebrali specifiche.

Il modello *'hub-and-spoke'* di Rogers spiega come potrebbe sorgere la conoscenza concettuale attraverso l'apprendimento circa la struttura statistica delle nostre esperienze multimodali. Le informazioni provenienti da ogni unità (ad esempio, la forma di elefante, il colore, l'odore, il movimento, il nome, etc.) sono codificate nelle regioni sensoriali specifiche per ogni caratteristica. In questo senso, la rete hub-and-spoke nel suo complesso è neuro-anatomicamente diffusa. Le informazioni dalle regioni specifiche, tuttavia, si fondono insieme attraverso un ulteriore “hub”, una rappresentazione trans modale che si trova bilateralmente nei lobi temporali anteriori (ATL). Gli ATL sono impegnati nell'elaborazione semantica a prescindere dalla modalità di ingresso (ad esempio, parole, oggetti, immagini o suoni) e categorie concettuali.

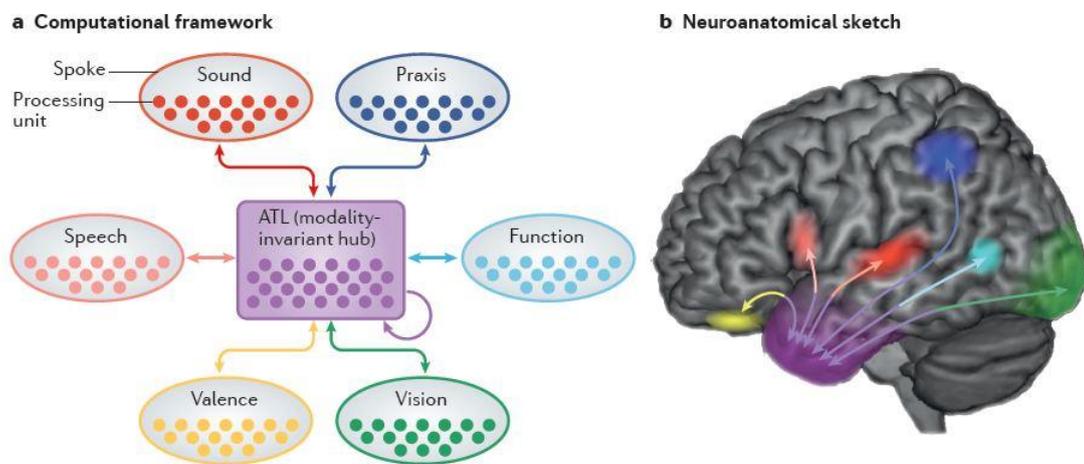


Fig. 1.3: Rappresentazione computazionale e neuroanatomica del modello “hub and spoke”.

Sebbene precedenti studi empirici hanno avuto la tendenza a concentrarsi sull'importanza di specifiche regioni per la rappresentazione semantica, studi più recenti si sono concentrati sui ruoli combinati di ATL-transmodale e modality-specific regioni di elaborazione semantica.

Per capire come funzionano le unità specifiche possiamo fare un'analogia con i prodotti da forno (ad esempio, dolci, pane, torte, ecc). E 'sempre possibile considerare ciascun prodotto (concetto) e decostruire in un elenco degli ingredienti (caratteristiche). Infatti, secondo le teorie semantiche classiche e approcci contemporanei, è chiaro che gli ingredienti (caratteristiche) sono fondamentali per la formazione di ciascun prodotto (concetto) in quanto se una delle caratteristiche manca (ad esempio farina) è impossibile generare i concetti che lo contengono (prodotti da forno). Oltre a decostruire i concetti in caratteristiche, è anche importante considerare la costruzione dei concetti, dato che questo è il processo alla base delle maggior parte delle teorie della formazione dei concetti. Infatti, come tutti i panificatori alle prime armi hanno sperimentato, una piccola variazione della ricetta porta a risultati assai diversi. Questo perché gli ingredienti (caratteristiche) hanno un rapporto complesso con il prodotto (concetto). Infatti, questo rapporto è multidimensionale e non lineare. Ad esempio, utilizzando un insieme fisso di otto ingredienti di base (farina, acqua, latte, uova, burro, zucchero, lievito e agente lievitante), è possibile generare un libro di cucina completa di prodotti da forno. In breve, la formazione di concetti coerenti (buoni dolci) richiede sia le caratteristiche (ingredienti) che la rappresentazione transmodale (ricetta).

1.2.1 Modelli connessionisti.

Nei modelli connessionisti, le informazioni sulle diverse proprietà degli oggetti viaggiano attraverso i vari “strati” di una rete di unità di elaborazione (tipicamente costruiti da un livello di “unità di input”, uno o più livelli intermedi di “unità nascoste” e un livello di “unità di output”) sotto forma di segnali eccitatori o inibitori che sommandosi tra di loro danno luogo a specifici pattern di attivazione tra le singole unità interconnesse. La caratteristica principale dei modelli connessionisti dunque, è la loro struttura a rete, ispirata all’organizzazione del sistema nervoso.

Le “unità” che compongono tale rete, si ispirano al funzionamento dei neuroni: sono fortemente connesse e si influenzano tra loro; l’influenza dipende dallo stato di attivazione dell’ unità stessa e dalle caratteristiche della connessione (debole o forte, eccitatoria o inibitoria).

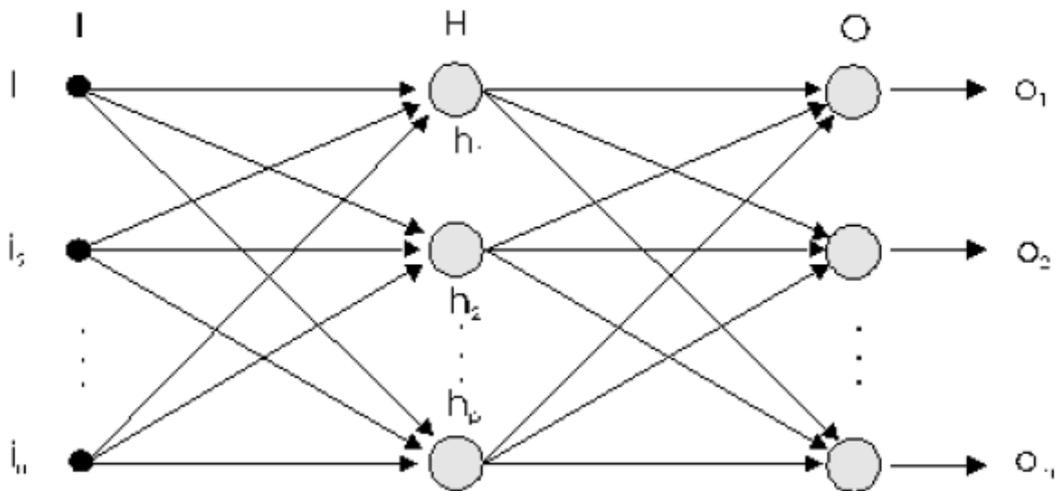


Fig. 1.4: Rete a due strati. **I**: nodi d’ingresso. **H**: strato nascosto. **O**: strato di uscita.

Uno degli scopi principali di un modello connessionista è quello di analizzare come le proprietà di output possono spontaneamente emergere come conseguenza delle caratteristiche di ingresso, utilizzando regole di

apprendimento adatte per i collegamenti, cioè per le connessioni tra i nodi che compongono la rete (le sinapsi).

Uno dei primi modelli connessionisti è stato proposto da *Hinton et al. (1981)*. Lo scopo di tale modello era quello di analizzare le proposizioni (come “la rosa è rossa”). Per fare ciò, il modello include tre sets di unità di elaborazione (soggetto, predicato e complemento) collegate mediante un quarto strato di unità nascoste (chiamate proposizioni). Il limite principale del modello di Hinton è che i pesi sinaptici sono dati a priori, e non sono basati sull’esperienza; la quale richiede che l’associazione tra le unità sia rappresentata da un bacino di attrazione. In successivi studi, Hinton (1986) utilizza uno schema feedforward, addestrato con l’algoritmo backpropagation, con cinque strati, uno di input, due di output e due nascosti, per investigare quale rappresentazione può svilupparsi negli strati nascosti, e ha dimostrato che può rivelare caratteristiche semantiche implicite non originariamente utilizzate come input, e rappresentarle nello strato nascosto. Tuttavia, nonostante le reti feedforward siano uno strumento potente nell’apprendere le relazioni tra le proprietà, non sono adatte per lo studio degli aspetti temporali e dinamici della nostra memoria (come il fenomeno del priming), dal momento che le informazioni si propagano tra livelli in un unico passaggio (i neuroni prendono il loro input solo dallo strato precedente, ed inviano il loro output solo allo strato seguente, ma neuroni dello stesso strato non sono tra loro connessi). Per questa ragione i modelli sviluppati negli anni recenti, sono basati sulle dinamiche di attrattori, cioè utilizzano sinapsi ricorrenti che consentono lo studio di aspetti dinamici della memoria semantica e quindi anche il priming. Altri autori hanno investigato in che modo le relazioni statistiche tra le proprietà (derivanti da compiti in cui si chiede di elencare le proprietà di alcuni oggetti) possono essere codificate attraverso reti di attrattori, e hanno analizzato il

ruolo di caratteristiche diverse, come la correlazione, la distintività. Ad esempio *Cree et al. (2006)* hanno evidenziato il ruolo che le proprietà distintive hanno nell'attivazione di un concetto rispetto alle proprietà condivise, mostrando che le sinapsi che si formano tra le parole che identificano un concetto e le proprietà distintive dello stesso concetto, sono più forti rispetto a quelle che si formano con le proprietà condivise. *O'Connor et al. (2009)* hanno dimostrato che un singolo strato di nodi che codificano le proprietà può rappresentare sia concetti superordinati (le categorie) che concetti subordinati (i membri di una categoria), senza il bisogno di una organizzazione gerarchica a priori. Tali risultati mettono in evidenza le possibilità offerte dalle reti di attrattori e il diverso ruolo delle diverse proprietà. In questi modelli, però, le sinapsi sono addestrate usando un algoritmo supervisionato, ovvero c'è un "insegnante" esterno che di volta in volta dice alla rete quale è la prestazione desiderata. La rete si modifica in conseguenza a tale insegnamento cosicché, dopo un certo numero di epoche (dell'ordine delle migliaia) in cui le sono presentati tutti gli esempi con il corrispondente output, diventa capace di produrre da sola l'output corretto per ogni input. Un esempio di tale apprendimento è l'algoritmo della backpropagation, cioè la propagazione all'indietro dell'errore: la rete calcola, per ogni unità di output, l'errore, cioè la differenza tra lo stato di attivazione prodotto dalla rete e quello stabilito nell'input di insegnamento, e lo propaga all'indietro verso i neuroni nascosti; questo errore serve a modificare i pesi delle connessioni tra i neuroni. Tuttavia l'apprendimento supervisionato non è una regola neurofisiologica. In un ambiente reale, i concetti sono probabilmente appresi attraverso una semplice presentazione di oggetti in un modo non supervisionato (cioè, senza un paradigma di correzione di errore). Quindi, può essere utile investigare il ruolo delle reti di attrattori nella formazione delle memoria semantica, all'interno del paradigma di apprendimento

Hebbiano. Nella regola di Hebb non è necessario calcolare l'errore e propagarlo all'indietro durante l'addestramento. E' un metodo che gode di evidenza neurofisiologica e sembra riprodurre un modo naturale di codifica delle regolarità statistiche e della correlazione tra le proprietà.

La regola di Hebb nello studio del priming ha già una lunga tradizione, McRae et al. (1997) hanno utilizzato una rete di attrattori allenata con la regola di Hebb per indagare su diversi effetti del priming semantico, Siekmeier e Hoffman (2002) hanno utilizzato la regola di Hebb in una rete Hopfield per confrontare il priming semantico tra soggetti normali e pazienti schizofrenici.

1.3 Priming

Il priming è un effetto psicologico per il quale l'esposizione a uno stimolo influenza la risposta a stimoli successivi. L'influenza dello stimolo può esercitarsi a livello percettivo, semantico o concettuale. Ad esempio, la ripetizione di una certa parola aumenterà la probabilità che una parola simile sia fornita come risposta ad una domanda, benché non sia la risposta corretta.

Alla base di questo paradigma c'è il fenomeno per cui riconoscere una parola è più facile quando questa viene presentata dopo un'altra parola correlata o associata ad essa, piuttosto che dopo una parola con la quale non c'è alcuna relazione (*Laudanna & Burani, 1993*). Un esempio di questo paradigma è quello in cui al soggetto vengono mostrati due stimoli linguistici separati, in successione temporale (il prime e il target), e il soggetto deve nominare il secondo dei due stimoli (il target). Con questo paradigma ciò che si misura è l'intensità della relazione che lega prime e target (e quindi l'influenza che il primo esercita sul secondo), infatti, se c'è un legame tra prime e target, la denominazione di quest'ultimo

avviene più velocemente rispetto alla situazione in cui tra prime e target non c'è alcuna relazione (*Flores D'Arcais, 1993*). Il fenomeno del priming viene spiegato sulla base del concetto di “diffusione dell'attivazione”. In base alla nozione di diffusione dell'attivazione, nel momento in cui viene avviato un processo di elaborazione che coinvolge una particolare unità linguistica, l'attivazione si diffonde all'interno del sistema semantico rendendo più veloce il processamento di tutte le proprietà connesse con l'unità di riferimento. L'attivazione si diffonde dall'unità attiva a tutte le proprietà ad essa collegate. L'esistenza e la forza di questi collegamenti sono ottenuti grazie alle fasi di addestramento semantico e lessicale tra le parole e le proprietà. Questo processo fa sì che il riconoscimento della parola “cane” sia più veloce se essa è preceduta dalla parola “gatto” piuttosto che da “divano”, proprio perché lo sforzo necessario per richiamare alla mente la parola “gatto” (il prime) non è ancora esaurito ma viene usato per richiamare parte della parola “cane” (il target) sfruttando la pre-attivazione delle proprietà e dei concetti comuni. Diversi sono i compiti che si avvalgono del paradigma del priming, ad esempio i compiti di decisione lessicale, nel quale al soggetto è richiesto di decidere se uno stimolo presentato appartiene o meno alla propria lingua, o i compiti di denominazione di parole o figure, in cui al soggetto viene chiesto di denominare il più velocemente possibile uno stimolo presentato. Il compito di priming è frequentemente utilizzato in modalità crossmodale (*Swinney, Onifer, Prather & Hirshokowitz, 1979*), cioè coinvolgendo più modalità sensoriali. E' il caso in cui al soggetto viene fatta ascoltare in cuffia una parola o una frase (modalità uditiva) e sullo schermo di un computer appare uno stimolo (modalità visiva) rispetto al quale egli deve eseguire un particolare compito: decisione lessicale, lettura di parola, denominazione di figura, o dare un giudizio di congruenza tra frase prime e stimolo target. In tutte queste modalità di

ricerca, la variabile dipendente, lo strumento con cui viene misurata l'intensità del legame tra prime e target, tipicamente è il tempo di risposta che intercorre tra la presentazione del target e la risposta del soggetto. Ciò implica l'esistenza di una relazione (più o meno lineare) tra tempo di risposta ed elaborazione cognitiva. Una assunzione forte del modello è che quando l'effetto di due diverse variabili sperimentali ha luogo in due stadi distinti dell'elaborazione, si dovrebbero verificare effetti di tipo additivo, con un aumento del tempo di risposta; mentre due variabili che influenzano il processamento alla stesso stadio dovrebbero mostrare un effetto interattivo, con conseguente riduzione del tempo di elaborazione. Inoltre, il modello descrive il tempo di risposta come un processo scomponibile in due momenti distinti:

- un momento detto centrale-cognitivo, durante il quale si verifica l'elaborazione dell'informazione;
- un momento detto periferico-motorio, durante il quale hanno luogo i processi che portano alla risposta effettiva.

Per distinguere queste due fasi, viene confrontato il tempo di risposta alla categoria di stimoli oggetto della ricerca, con quello di altri stimoli detti di controllo, che sono simili al target sperimentale per il più alto numero possibile di caratteristiche. (Cacciari, 2001; Friederici & Jacobsen, 1999; De Groot, Thomassen & Hudson, 1982; Taraborelli, 2003).

1.4 Concetti e creazione di categorie.

La memoria semantica è organizzata su base categoriale. Di fatto, le categorie rivestono un ruolo importante sia come principio di organizzazione che struttura il sistema di rappresentazione, sia come

chiave di recupero delle informazioni. Dal primo punto di vista, la categorizzazione è un meccanismo mentale particolarmente potente perché permette di dare origine a insiemi più o meno ampi di elementi sulla base di uno o più principi di organizzazione. Ad esempio: posso generare i nomi di animali che conosco, ma anche dei mezzi di trasporto o utensili da cucina. La differenziazione in classi permette il recupero di informazioni e caratteristiche non esplicitate verbalmente. Ad esempio, se in qualche isola inesplorata viene scoperto un nuovo animale che viene classificato come mammifero, anche senza averlo mai visto gli attribuirò le proprietà “mangia” e “dorme”.

La capacità di classificare e rappresentare elementi in classi, ovvero il processo di categorizzazione, assolve diverse funzioni. Una prima funzione della categorizzazione è quella di rendere possibile l'esecuzione di risposte comportamentali riferite a una classe di oggetti cognitivamente equivalenti (piuttosto che considerare singolarmente ciascun oggetto). Confrontate adesso uccelli e pesci: si tratta di animali diversi, se considerati rispetto alla propria categoria di appartenenza, ma simili, se considerati nella più ampia categoria degli animali. Di fatto, una seconda funzione della categorizzazione è quella di permettere di rilevare analogie e differenze fra oggetti a diversi livelli di astrazione.

Un'ulteriore distinzione sulle categorie viene fatta nel libro di *Robert Sternberg* dal titolo “*Cognitive Psychology*”, dividendole in naturali e artefatte. Le prime si verificano naturalmente nel mondo (ad esempio gli uccelli o gli alberi formano categorie naturali), le seconde sono concepite dall'uomo con lo scopo di svolgere una particolare funzione (ad esempio le automobili o gli utensili da cucina), ma entrambe sono relativamente stabili, mentre i singoli membri della categoria possono cambiare. Alcune categorie sono concepite ad hoc, cioè sono categorie che si formano nella

mente con un particolare scopo, e non le troviamo definite ad esempio in un dizionario come le categorie naturali e artificiali.

La visione classica delle categorie concettuali, comporta la scomposizione di un concetto in proprietà; alcune di queste sono elementi essenziali della categoria, e tutte insieme sono sufficienti per definire una categoria (Katz, 1972; Katz & Fodor, 1963). Tali proprietà sono considerate “defining features” perché rappresentano la definizione di una categoria, e sono attributi necessari: per essere una determinata cosa è necessario avere una determinata proprietà. È interessante ricordare che gli attributi utilizzati nella identificazione dei concetti non sono necessariamente dati a priori, ma possono essere “creati” in risposta alle esigenze di categorizzazione poste dalla situazione. Le “defining features” sono essenziali per definire un concetto, tuttavia la violazione di qualcuna di queste non sembra cambiare la categoria a cui appartengono. Pensiamo alla proprietà di avere le ali tipica degli uccelli : siamo d’accordo sul fatto che un pettirosso al quale sono state tagliate le ali è ancora un uccello. Senza ali diviene concettualmente simile a un uccello, come il gallo che non vola. Entrambi sono uccelli, ma il pettirosso sembra rappresentare meglio l’esempio di un uccello. Infatti le persone a cui viene chiesto di valutare la tipicità di un pettirosso rispetto ad un gallo, attribuiscono un punteggio più alto al primo uccello. Questo accade perché i bambini durante l’apprendimento imparano prima le istanze tipiche di una categoria, non i casi atipici.

Interessante è anche la teoria dei prototipi, la quale suggerisce che le categorie sono formate sulla base di un modello di categoria. Cruciali per questa teoria sono le proprietà definite come “*characteristic features*” che descrivono (o tipizzano) un prototipo che si forma attraverso l’esperienza con degli esempi di membri di categorie, ma non sono necessarie, nel senso che possono non essere possedute da tutti gli elementi di una

categoria. Dunque, mentre una defining feature appartiene ad ogni istanza di una categoria, una characteristic feature non appartiene necessariamente ad ognuna di esse.

1.5 Apprendimento Hebbiano.

Un elemento essenziale per la costruzione e l'uso delle reti neurali è la presenza di regole per l'addestramento delle sinapsi. Una formulazione su come le reti neurali tendono ad addestrarsi fu formulata, alla fine del XIX secolo dallo psicologo e filosofo William James che, nel suo "Trattato di psicologia", formulò un principio fondamentale che alla base del connessionismo: "*When two active brain process have been active together in immediate succession, one of them, on recurring, tends to propagate its excitement into the other*" (W. James 1890) .

Secondo questo principio, stati mentali e processi mentali che sono avvenuti spesso insieme o in rapida successione, tendono a richiamarsi automaticamente. Ovvero la mente tende a lavorare per associazioni, in modo da ricostruire o rievocare situazioni già incontrate in passato.

Un principio analogo, ma riferito all'addestramento delle sinapsi fu formulato nel 1949 da Donald Hebb nel libro "The Organization of Behavior": "*When neuron A repeatedly participates in firing neuron B, the strength of the action of A onto B increases*".

Questo principio è alla base della regola di Hebb per l'addestramento delle sinapsi che stabilisce che una sinapsi si rinforza con l'uso.

È facile capire che la regola di Hebb vada nella stessa direzione del principio formulato da James, ovvero implichi l'idea di connessionismo. Infatti se in passato due neuroni, connessi con una sinapsi eccitatoria, erano spesso attivi insieme (cioè entrambi eccitati), la regola prevede un rinforzo della sinapsi. Ne consegue che, se nel futuro il solo neurone pre-

sinaptico viene attivato, l'eccitazione si propaga dal primo al secondo attraverso la forte sinapsi di collegamento, tendendo a ricreare la stessa situazione (entrambi neuroni attivi) incontrata in passato.

Tuttavia la regola di Hebb, nella sua formulazione originaria, presenta un forte limite: essa prevede unicamente il rinforzo della sinapsi. Se così fosse, avremmo sempre e solo un aumento delle sinapsi eccitatorie, con il risultato di poter avere eccessiva eccitazione e un' eccessiva connettività cerebrale. Occorre, per avere un addestramento efficiente, prevedere anche la possibilità di indebolire una sinapsi, nel caso in cui non venga usata o il suo uso contraddica i principi del connessionismo.

La forma più semplice della regola di Hebb prevede che la sinapsi si aggiorni sulla base della correlazione fra attività pre-sinaptica e quella post-sinaptica. Indicando con ΔW_{BA} la variazione di sinapsi, e con γ un coefficiente di addestramento o learning rate (assunto sempre positivo) che determina la velocità di apprendimento; maggiore è γ e più velocemente è appresa la variazione sinaptica:

$$\Delta W_{BA} = \gamma \cdot Y_A \cdot Y_B$$

Dove con Y_A viene indicata l'attività del neurone pre-sinaptico (che per semplicità immaginiamo possa assumere valore 0 o 1), con Y_B l'attività del neurone post-sinaptico (0 o 1). Nella *Tab.1.1* sono riportate le possibili uscite binarie:

Y_B	Y_A	ΔW_{BA}
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	γ

Tab.1.1: Se entrambi i neuroni sono inibiti non c'è nessuna variazione sinaptica. Se entrambi sono eccitati la sinapsi da B a A cresce di un valore γ . Se però uno dei due neuroni è inattivo la sinapsi è nulla.

Come si vede dalla tabella, usando solo uscite positive (come in effetti è la frequenza di scarica) la regola prevede solo il potenziamento sinaptico. Per avere una maggiore valenza biologica possiamo introdurre nella regola di Hebb anche l'indebolimento della sinapsi modificando l'apprendimento delle sinapsi tra i neuroni che codificano le proprietà dei singoli concetti e delle sinapsi che collegano tali proprietà alle parole associate.

La regola modificata è:

$$\Delta W_{j,i} = \gamma_{j,i}(x_j - \vartheta_{post})(x_i - \vartheta_{pre})$$

L'uso classico della regola di Hebb porta alla formazione di sinapsi simmetriche, ovvero i valori di soglia post e pre-sinaptica sono uguali. Nel modello invece è stato necessario utilizzare valori diversi per creare sinapsi asimmetriche, in modo tale da poter distinguere le proprietà salienti da quelle marginali, e le proprietà condivise da quelle distintive. Tutto quanto sarà chiarito nel prossimo capitolo.

Capitolo 2

2.INTODUZIONE AL MODELLO

2.1 Modello bidimensionale.

Il modello è costituito da due reti neurali; una chiamata “rete semantica” dove la descrizione di un concetto è rappresentata come l’insieme di caratteristiche senso-motorie. Queste sono prese da diverse aree corticali (sia nella corteccia sensoriale e motoria, ma anche in altre aree, come ad esempio, quella emotiva) e sono organizzate seguendo il principio di somiglianza.

La seconda rete neurale è chiamata “rete lessicale”; ogni unità computazionale in questa rete rappresenta un lemma o una forma verbale, ed è associata ad ogni singolo concetto. Tuttavia, le reti semantica e lessicale sono fortemente interconnesse tra loro dopo l’addestramento e lavorano in modo fortemente integrativo per costituire un unico sistema lessicale-semantico altamente interattivo.

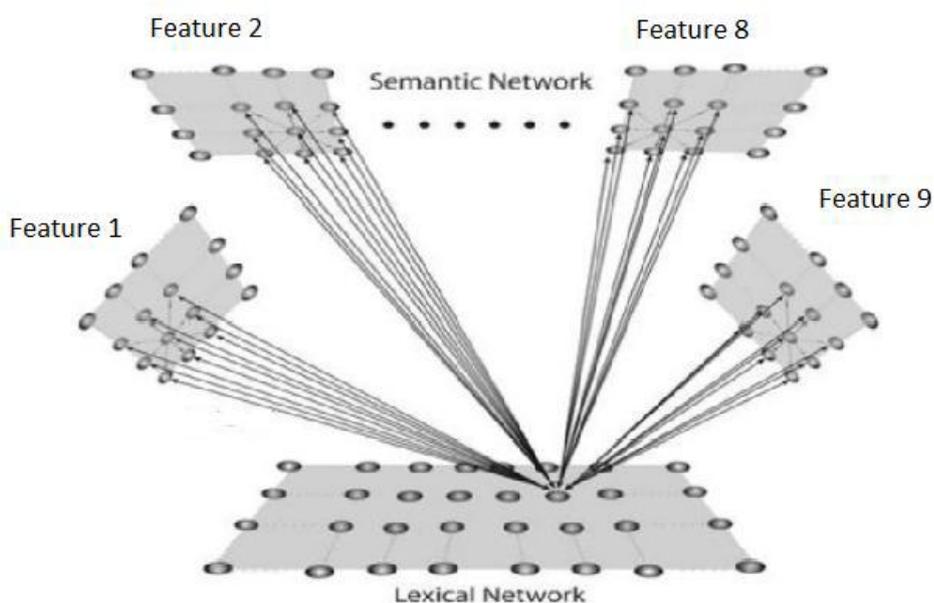


Fig.2.1:Struttura generale del modello in cui c'è una rete semantica e una rete lessicale.

Adottiamo una rete semantica con nove aree di funzionalità. Ogni area è descritta attraverso una matrice 20×20 ovvero 400 unità neurali totali; per semplicità computazionale, queste 9 zone sono codificate attraverso un' unica matrice semantica formata da 60×60 unità ($i = 1, 2, \dots, 60, j = 1, 2, \dots, 60$).

La rete lessicale, invece, consiste in una singola catena con 8 unità ($i = 1, 2, \dots, 8$). Usiamo gli apici S e L per indicare una quantità appartenente alla rete semantica o lessicale. Una quantità che collega le due reti è rappresentato con due apici, il primo che denota regione beneficiaria, la seconda la regione donatrice.

Ogni unità neurale è descritta da due indici (ij o hk) che rappresentano la posizione all'interno della rete. Di conseguenza una sinapsi tra due unità neurali ha quattro indici (per esempio ij, hk): i primi due rappresentano la posizione del neurone post-sinaptico, gli altri due la posizione del neurone pre-sinaptico.

La rappresentazione di un oggetto nella rete semantica è distribuito su nove aree. Tuttavia, abbiamo ipotizzato che la rappresentazione di una singola funzione è localizzata; cioè una funzione è codificata dalla posizione di un neurone in quell' area.

2.2 Modello unidimensionale.

Il modello incorpora sempre due reti di neuroni, una rappresenta la rete semantica e l'altra la rete lessicale, come illustrato in *Fig.2.2*. Gli oggetti nella rete semantica sono rappresentati come un insieme di proprietà (features) sparse non più in 9 aree corticali, ma raccolte in un vettore di lunghezza M , dove ogni unità neurale codifica per una feature, e ogni feature può ricevere sinapsi da tutte le altre (tranne che da se stessa) formando una matrice delle sinapsi di dimensione $M \times M$. Non si considera

più l'organizzazione topologica delle aree e quindi si trascurano le sinapsi laterali che implementano il principio di somiglianza. Nella rete lessicale ogni unità neurale codifica per una parola (word-form), e ognuna è associata ad una rappresentazione individuale dell'oggetto. Le parole sono raccolte in un vettore di lunghezza ML. Dopo l'apprendimento le due reti diventano fortemente interconnesse, quindi lavorano insieme in modo integrativo, per costituire un sistema semantico-lessicale altamente interattivo. Ogni unità neurale viene indicata non più con un doppio indice, ma soltanto con un indice (j), mentre una sinapsi tra due unità neurali ha due pedici j_i , il primo rappresenta la posizione del neurone post-sinaptico, il secondo la posizione del neurone pre-sinaptico. Le sinapsi eccitatorie tra i neuroni dell'area semantica sono create sulla base dell'esperienza passata della rappresentazione dell'oggetto, con un paradigma Hebbiano, che include sia il potenziamento che il depotenziamento delle sinapsi, e una soglia per l'attività presinaptica e postsinaptica. Il modello è stato addestrato usando una tassonomia di oggetti schematici (cioè, descritti attraverso un vettore di features) che hanno alcune proprietà comuni (così da realizzare una semplice categoria) e alcune proprietà distintive con una diversa frequenza di occorrenza. Le proprietà hanno una diversa salienza, come conseguenza delle loro diverse frequenze utilizzate durante l'addestramento. La rete addestrata è in grado di risolvere compiti di riconoscimento di oggetti, mantenendo una distinzione tra le categorie e i membri individuali all'interno della categoria, e dando un diverso ruolo alle proprietà salienti rispetto a quelle marginali.

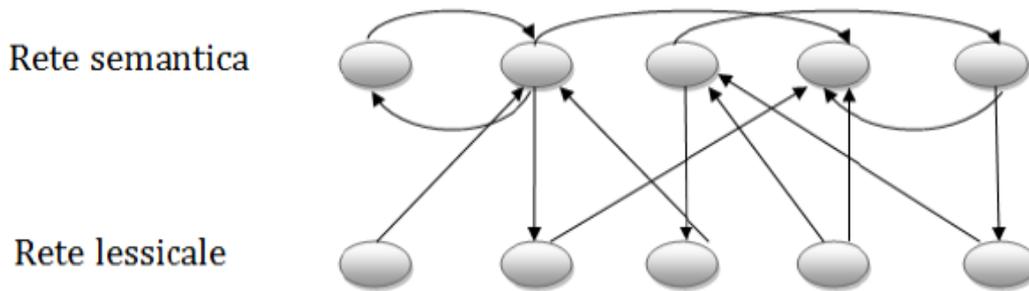


Fig.2.2: Schema del modello semplificato unidimensionale. La rete semantica (primo strato), ogni unità semantica è connessa alle altre dello stesso strato attraverso sinapsi eccitatorie. La rete lessicale (secondo strato), ogni unità lessicale può ricevere sinapsi eccitatorie e inibitorie dalle unità semantiche, mentre l'unità semantiche possono ricevere solo sinapsi eccitatorie dai neuroni lessicali.

2.2.1 Descrizione matematica.

Ogni unità nelle reti semantiche e lessicali riceve un ingresso globale (indicato con u) e produce un'uscita (indicata con x). Questa relazione è descritta attraverso un filtro passa-basso del primo ordine con costante di tempo τ (Eq. (1)), che riproduce il pattern temporale della risposta, e una funzione sigmoidale (Eq. (2)), che rappresenta una soglia di saturazione inferiore e superiore dei neuroni.

$$\tau_j^A \frac{d}{dt} x_j^A(t) = -x_j^A(t) + H^A(u^A(t)) \quad A = S, L \quad (1)$$

dove l'apice A indica la rete (semantica o lessicale), τ_j^A è la costante di tempo, che determina la velocità di risposta allo stimolo, e $H^A(u^A(t))$ è la funzione di attivazione sigmoidale. La relazione sigmoidale è descritta dalla seguente equazione

$$H^A(u^A(t)) = \frac{1}{1 + e^{-(u^A(t) - \varphi^A) \cdot p^A}} \quad (2)$$

Dove p è il parametro che indica la pendenza centrale della sigmoide, e φ^A indica la posizione centrale. Dall'Eq.(2) risulta che abbiamo saturazione superiore a 1 (cioè tutte le attività neurali sono normalizzate a un massimo). L'input $u^A(t)$ nell'Eq.(1) ha un'espressione differente nella rete semantica che in quella lessicale.

2.2.2 Ingresso rete semantica.

L'input ai neuroni nella rete semantica (apice $A = S$) è composto dalla somma di 4 contributi

$$u_j^S(t) = I_j^S + E_j^{SS} + C_j^{SL} \quad (3)$$

I_j^S rappresenta l'input esterno che evoca l'attività del neurone in posizione j che arriva da una catena di elaborazione senso-motorio-emotivo che estrae le features. I_j^S può assumere valore 0 (assenza di feature) oppure 1 (presenza di feature). E_j^{SS} indica un termine di accoppiamento eccitatorio proveniente da unità in altre aree della rete semantica (cioè dai neuroni che codificano per una feature differente). È descritto dalla seguente equazione:

$$E_j^{SS} = \sum_i W_{j,i}^{SS} \cdot x_i^S \quad (4)$$

dove j descrive la posizione del neurone post-sinaptico (target) e i la posizione del neurone pre-sinaptico, e la somma si estende a tutti i neuroni pre-sinaptici nella rete semantica. Il termine $W_{j,i}^{SS}$ rappresenta le sinapsi eccitatorie nella rete semantica che realizzano una memoria auto-associativa e sono soggette ad apprendimento. Abbiamo trovato l'uso di sinapsi inibitorie all'interno dell'area semantica inutile in quanto le

caratteristiche che non si verificano insieme sono semplicemente non connesse. Quindi le sinapsi eccitatorie costituiscono una matrice di dimensione $M \times M$.

Infine abbiamo il termine C_j^{SL} è un termine di cross-correlazione ed è indicato come segue:

$$C_j^{SL} = \sum_j W_{j,i}^{SL} \cdot x_i^L \quad (5)$$

dove x_i^L indica l'attività del neurone i nell'area lessicale e il termine $W_{j,i}^{SL}$ sono le sinapsi che vanno dall'area lessicale all'area semantica, e formano una matrice di dimensione $M \times ML$.

2.2.3 Ingresso rete lessicale.

L'input della rete neurale lessicale nella posizione j -esima (u_j^L nell'Eq.(1)) è descritto da due termini:

$$u_j^L(t) = I_j^L(t) + C_j^{LS}(t) \quad (6)$$

$I_j^L(t)$ è l'input prodotto da un stimolo linguistico esterno, che arriva dall'ascolto di fonemi o dalla lettura di caratteri, e può assumere valore 1 quando la word-form è data alla rete e 0 altrimenti. $C_j^{LS}(t)$ rappresenta l'intensità dell'ingresso in seguito alle connessioni sinaptiche dalla rete semantica.

Le sinapsi che collegano la rete semantica alla rete lessicale includono un termine eccitatorio e un termine inibitorio (indicati con $W_{j,i}^{LS}$, e $V_{j,i}^{LS}$ rispettivamente), che sono addestrati in modi diversi.

Ciò comporta una strategia inibitorio-eccitatorio più complessa. In effetti, una word-form nell'area lessicale deve essere eccitata dalle features

dominanti presenti nello scenario semantico e inibita quando la rete semantica include una caratteristica non appartenente all'oggetto. In altre parole, le funzionalità che non vengono coinvolte nella rappresentazione dell'oggetto inibiscono l'unità lessicale corrispondente. Quindi, possiamo scrivere:

$$C_j^{LS} = \sum_i W_{j,i}^{LS} \cdot x_i^S - \sum_j V_{j,i}^{LS} \cdot x_i^S \quad (7)$$

Dove x_i^S rappresenta l'attività del neurone i nell'area semantica, $W_{j,i}^{LS}$, è la forza delle sinapsi eccitatorie e $V_{j,i}^{LS}$ la forza delle sinapsi inibitorie. Entrambe formano una matrice di dimensioni $ML \times M$.

2.3 ADDESTRAMENTO DELLA RETE

2.3.1 Equazioni del modello.

Prima di procedere con l'addestramento della rete, tutte le sinapsi eccitatorie dell'area semantica e tutte le sinapsi eccitatorie ed inibitorie tra rete semantica e rete lessicale vanno poste a zero.

L'addestramento si divide in due fasi

Fase 1: i singoli concetti, descritti tramite alcune caratteristiche, sono presentati alla rete uno per uno, mentre tutte le unità lessicali ricevono input nulli. Le sinapsi inter-area collegano le diverse caratteristiche apprese. In questa fase il soggetto fa esperienza con i concetti e apprende la loro semantica. Tuttavia, non tutte le caratteristiche dei concetti sono simultaneamente usate. Tali caratteristiche hanno una diversa frequenza di occorrenza: un'alta frequenza rende le caratteristiche salienti.

Fase 2: le word-form sono date alla rete lessicale, insieme ad alcune features del corrispondente concetto nella rete semantica, con le stesse frequenze della *fase 1*, e le sinapsi che collegano la rete lessicale e quella semantica vengono apprese. In questa fase vengono utilizzate, oltre alle forme verbali che denotano singoli membri di una categoria (con caratteristiche distintive e altre comuni), anche le categorie stesse, costituite da proprietà comuni a tale categoria.

Tutte le sinapsi sono addestrate seguendo la legge di Hebb, che modifica il peso sinaptico in base alla correlazione tra attività presinaptica e post-sinaptica. Tenendo conto non solo del potenziamento a lungo termine, ma anche della depressione a lungo termine (Dayan& Abbott,2001), si assume che queste attività vengano confrontate con una soglia. Quindi possiamo scrivere:

$$\Delta W_{j,i}^{AB} = \gamma_{j,i}^{AB} (x_j^A - \vartheta_{post}^{AB})(x_i^B - \vartheta_{pre}^{AB}) \quad (8)$$

dove l'apice AB possono assumere il significato SS, SL o LS a seconda della particolare sinapsi. $\Delta W_{j,i}^{AB}$ indica la variazione nella forza sinapsi, a causa dell'attività pre-sinaptica e post-sinaptica.

ϑ_{post}^{AB} e ϑ_{pre}^{AB} rappresentano le soglie per l'attività pre-sinaptica e post-sinaptica, $\gamma_{j,i}^{AB}$ denota un fattore di apprendimento, x_j^A è l'attività del neurone in posizione j nell'area post-sinaptica, e x_i^B è l'attività del neuroni in posizione i nell'area pre-sinaptica.

Tuttavia la legge di Hebb richiede alcune restrizioni per essere veramente fisiologica. In primo luogo, l'equazione precedente non è valida quando entrambi i neuroni sono al di sotto della soglia. In questo caso, la sinapsi rimane invariata.

$$\text{if } x_j^A < \vartheta_{post}^{AB} \text{ and } x_i^B > \vartheta_{pre}^{AB} \text{ allora } \Delta W_{j,i}^{AB} = 0 \quad (9)$$

In secondo luogo, le sinapsi non possono diventare negative. Quindi, quando calcoliamo il nuovo valore della sinapsi abbiamo:

$$W_{j,i}^{AB} \leftarrow (W_{j,i}^{AB} + \Delta W_{j,i}^{AB}) U(W_{j,i}^{AB} + \Delta W_{j,i}^{AB}) \quad (10)$$

Dove il simbolo \leftarrow indica che il valore calcolato al membro di destra è assegnato al membro di sinistra, e $U(y)$ rappresenta la funzione gradino ($U(y) = 1$ se $y > 0$, $U(y) = 0$ altrimenti).

In terzo luogo, una sinapsi non può crescere all'infinito, ma deve tendere ad un livello massimo di saturazione. Questo è possibile se il fattore di apprendimento diminuisce quando la sinapsi si avvicina ad un livello massimo di saturazione.

$$\gamma_{j,i}^{AB} = \frac{\gamma_0^{SS}}{W_{max}^{SS}} (W_{max}^{SS} - W_{j,i}^{SS}) \quad (11)$$

dove γ_0^{SS} è il massimo rateo di apprendimento (cioè il rateo quando la sinapsi è zero).

È stato evidenziato che una word-form può essere descritta con un diverso numero di caratteristiche salienti (alcune parole possono avere tre caratteristiche salienti, altre ne possono avere cinque, e così via). La domanda è: quante features devono essere evocate nella rete semantica, in modo che il concetto sia riconosciuto e la word-form associata venga evocata? La regola di Hebb con saturazione superiore come in Eq. (10) e Eq.(11) ha riportato, dopo l'addestramento, dei risultati sconcertanti ovvero bisogna avere lo stesso numero di caratteristiche per riconoscere un concetto, indipendentemente dal numero di caratteristiche salienti;

questo non è corretto. Quindi, si è introdotto un forte presupposto che richiede un' ulteriore conferma: la rete lessicale deve essere in grado di riconoscere un concetto solo se tutte le caratteristiche salienti sono evocate, e indipendentemente dal numero di caratteristiche salienti che lo descrive. Per garantire questo, si assume che la somma delle sinapsi che entrano in una word-form non possa superare un livello massimo. Quindi, la seguente regola è utilizzata per aggiornare le sinapsi :

$$\Gamma_j^{LS} = \sum_i (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) \quad (12)$$

$$W_{j,i}^{LS} \leftarrow \begin{cases} (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) & \text{if } \Gamma_j^{LS} \leq \Gamma_{\max} \\ (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) \cdot \frac{\Gamma_{\max}}{\Gamma_j^{LS}} & \text{if } \Gamma_j^{LS} > \Gamma_{\max} \end{cases} \quad (13)$$

dove il simbolo Γ_j^{LS} denota la somma di tutte le sinapsi eccitatorie che entrano in una word-form alla posizione j (quindi la somma si estende a tutte le unità neurali i dell'area semantica). In particolare è stato fissato al valore 1, ciò significa che quando questa somma è maggiore di 1, ogni sinapsi viene divisa per la somma stessa (cioè, se la somma delle sinapsi fosse 1.3 ogni sinapsi è ridotta di 1.3, e quindi la somma torna ad essere 1). Allo stesso modo, si è utilizzato la regola anti-Hebbiana per le sinapsi inibitorie: queste sono indebolite quando entrambe le attività pre-sinaptica e post-sinaptici sono al di sopra della soglia, e sono rafforzate quando le attività sono negativamente correlati.

$$\Delta V_{j,i}^{LS} = -\gamma_{j,i}^{LS} (x_j^{LS} - \rho_{post}^{LS}) (x_i^{LS} - \rho_{pre}^{LS}) \quad (14)$$

Certamente anche queste sinapsi non possono cambiare segno (cioè, una sinapsi inibitoria non può essere convertita in una sinapsi eccitatoria).

Ogni sinapsi inibitoria è saturata al valore +1, (nei grafici che saranno mostrati, viene presentata la differenza $W_{j,i}^{LS} - V_{j,i}^{LS}$, quindi la saturazione della singola sinapsi inibitoria diventa uguale a -1 quando la sinapsi eccitatoria è 0).

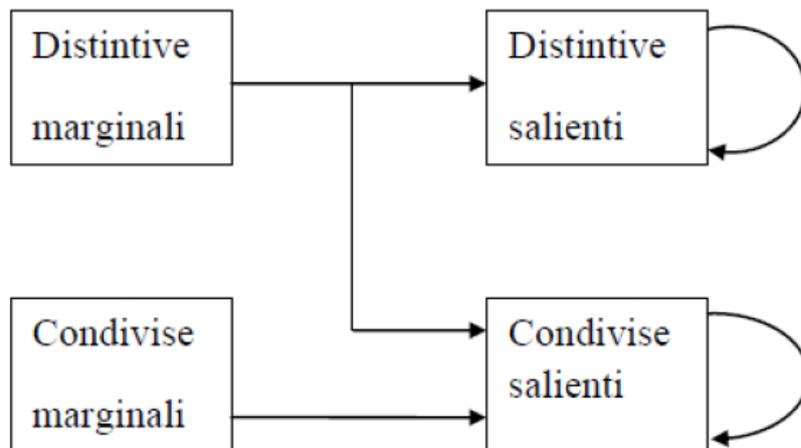
2.3.2 Assegnazione parametri- apprendimento rete semantica.

Un punto fondamentale per ottenere un processo di formazione corretto riguarda la scelta dei valori appropriati per le soglie presinaptiche e post-sinaptiche nella regola di Hebb. Cominciamo con la rete semantica che deve rispettare questi requisiti:

- a) *Caratteristiche salienti o dominanti* devono essere evocate da tutte le caratteristiche del concetto (sia dominanti che non dominati), quindi ricevono forti sinapsi in input. Al contrario, devono inviare forti sinapsi di output solo ad altre caratteristiche salienti.
- b) *Caratteristiche marginali* non devono essere evocate da altre caratteristiche del concetto (in altre parole, ricevono sinapsi in input deboli) ma favoriscono la ricostruzione del concetto (quindi, inviano forti sinapsi di output verso le caratteristiche dominati).
- c) *Caratteristiche condivise* da diversi concetti di una categoria, devono richiamare tutte le altre caratteristiche salienti comuni alla categoria, ma non devono richiamare aspetti distintivi dei singoli membri (ad esempio, la caratteristica “ha una coda” deve richiamare le caratteristiche comuni di categoria “animale”, come “ha gli occhi”, ma non deve richiamare le caratteristiche come “abbaia” o “miagola” che appartengono ai singoli concetti come "cane" e “gatto".)
- d) *Caratteristiche distintive* non devono richiamare solo le altre caratteristiche dominanti del dato concetto, ma anche le

caratteristiche dominanti condivise (la funzione “abbaia” dovrebbe ricordare tutte le proprietà dominanti di un cane, tra cui “ha una coda” , “ha due occhi” condiviso con altri animali).

Le precedenti condizioni sono descritte nel seguente diagramma a blocchi



Questo particolare comportamento delle sinapsi semantiche può essere raggiunto assumendo che la soglia dell’attività post-sinaptica sia elevata (abbiamo assunto $\vartheta_{post}^{SS} = 0.55$, cioè ci poniamo circa a metà tra la massima inibizione e la massima eccitazione) mentre la soglia dell’attività pre-sinaptica è bassa (abbiamo assunto $\vartheta_{pre}^{SS} = 0.05$, vicino all’inibizione). Un valore poco superiore dello zero è stato scelto per evitare che un’attività neurale residua causasse un indesiderato rinforzo sinaptico.

Le principali conseguenze di queste scelte sono:

- i. se i neuroni pre-sinaptici e post-sinaptici sono attivi (attività vicino a 1), le sinapsi si rafforzano [$\Delta W_{j,i}^{SS} = \gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.45 \cdot 0.95 \cong \gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.42$]

- ii. se un neurone post-sinaptico è inibito (attività vicino a 0) mentre il neurone pre-sinaptico è eccitato (attività vicino ad 1), la sinapsi si indebolisce [abbiamo $\Delta W_{j,i}^{SS} = -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.55 \cdot 0.95 \cong -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.52$].

Questa situazione si verifica quando una sinapsi collega una caratteristica condivisa con una distintiva; quando la caratteristica condivisa è richiamata in un concetto non viene richiamata la caratteristica distintiva (ad esempio la caratteristica “ha il pelo” non richiama “miagola” quando parliamo del concetto di “cane”). Una situazione simile si ha, anche per una sinapsi che collega una caratteristica frequente con una non frequente, se la prima è presente e l’altra non è presente. Quindi, dopo un sufficiente addestramento, le caratteristiche condivise invieranno sinapsi deboli verso caratteristiche distintive, e le caratteristiche salienti invieranno sinapsi deboli verso caratteristiche marginali.

- iii. Se il neurone post-sinaptico è eccitato (attività vicino a 1) e l’attività del neurone pre-sinaptico è inibita (attività vicino a zero), la sinapsi mostra un moderato indebolimento [abbiamo $\Delta W_{j,i}^{SS} = -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.45 \cdot 0.05 \cong -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.023$].

Questa situazione si verifica quando la sinapsi va da una caratteristica marginale verso una caratteristica saliente. La caratteristica marginale invia sinapsi forti verso tutte le caratteristiche salienti, ottenendo uno scarso indebolimento della sinapsi. Una situazione simile avviene anche se consideriamo una sinapsi che va da una caratteristica distintiva a una caratteristica saliente condivisa.

Le considerazioni precedenti richiedono due osservazioni. In primo luogo, si considera la frequenza di occorrenza come unico aspetto che caratterizza il dominio. Siamo consapevoli che questo è un limite, ma è stata adottata per semplificare la nostra analisi. In secondo luogo, il livello

di dominanza (ovvero una caratteristica è dominante o meno in base alla sua frequenza) è strettamente correlato al valore utilizzato per la soglia post-sinaptico ϑ_{post}^{SS} . Più alto è questa soglia, più alto è il livello di frequenza necessario affinché una caratteristica sia dominante.

Il valore di saturazione per la sinapsi semantiche (W_{max}^{SS}) è stato assegnato in base ai lavori precedenti (Ursino et al., 2010, 2011). È stato assunto che una sola proprietà distintiva sia sufficiente per riconoscere un oggetto, per esempio la proprietà “bela” è sufficiente da sola ad evocare la pecora, e a richiamare tutte le altre proprietà salienti della pecora.

2.3.3 Assegnazione parametri-apprendimento rete lessicale.

Quando si addestra la rete lessicale, come anche per la rete semantica, si utilizzano valori dei ratei di apprendimento piccoli sufficiente a garantire una convergenza graduale (sostanzialmente, circa 100 presentazioni di ogni word-form con l'oggetto associato).

Le sinapsi eccitatorie delle unità lessicali e semantiche sono state addestrate utilizzando una soglia pre-sinaptica bassa $\vartheta_{pre}^{SL} = 0.01$ e una soglia post-sinaptica alta $\vartheta_{post}^{SL} = 0.55$. La soglia per le sinapsi eccitatorie che vanno da una caratteristica semantiche a forma verbale, seguono un simile ragionamento, ma con ruolo opposto per le soglie post-sinaptiche e pre-sinaptiche ($\vartheta_{post}^{LS} = 0.05$; $\vartheta_{pre}^{LS} = 0.55$). In altre parole, quando connettiamo la rete semantica con la rete lessicale, la soglia della forma verbale è sempre vicina allo zero, e la soglia per l'unità semantica è sempre elevata, indipendentemente dal fatto che il neurone sia pre-sinaptico o post-sinaptico. Questo significa che una parola deve essere attiva per garantire l'apprendimento.

La sinapsi si rafforza quando la caratteristica corrispondente è presente nella rete, e si indebolisce quando è assente. Ne consegue che solo le caratteristiche salienti che partecipano con molta frequenza alla rappresentazione del concetto sono spontaneamente collegate con la forma verbale.

La formazione delle sinapsi inibitorie delle forme verbali (apprendimento anti-Hebbiano) richiede una strategia diversa. Per inibire la parola associata a un concetto abbiamo bisogno di una caratteristica che mai (o raramente) partecipi alla semantica di tale concetto, ma partecipi spesso alla semantica di altri concetti (per esempio, la caratteristica “fa freddo” dovrebbe inibire la parola “sole”, la caratteristica “abbaia” dovrebbe inibire la parola “gatto”). Per raggiungere questo obiettivo, si è assunto che si formino sinapsi inibitorie ogni volta che una caratteristica è attiva nella rete semantica (quindi abbiamo assunto per l’unità pre-sinaptica $\rho_{pre}^{LS} = 0$ nell’ Eq.(14)). La soglia dell’attività post-sinaptica (che è la word-form) ha ricevuto un valore basso ($\rho_{post}^{LS} = 0.05$). In questo caso, se la caratteristica e la corrispondente word-form sono simultaneamente attive, la sinapsi inibitoria è drasticamente ridotta ($\Delta V_{j,i}^{LS} = -\gamma_{inib}^{LS} \cdot 0.95$ nell’Eq.(14)). Ogni volta che una caratteristica è presente senza la word-form, la sinapsi inibitoria ha un leggero incremento ($\Delta V_{j,i}^{LS} = +\gamma_{inib}^{LS} \cdot 0.05$). Tali risultati indicano che le caratteristiche che alcune volte partecipano all’object (anche se non salienti) non inibiscono. Solo quelle caratteristiche che raramente o mai partecipano alla semantica dell’ object, ma frequentemente partecipano alla semantica di altri object, inviano inibizione all’word-form. La massima saturazione per la somma delle sinapsi eccitatorie che raggiungono la word-form, è stata scelta in modo tale che, quando le caratteristiche salienti sono presenti, l’attività del neurone che codifica la

word-form vada verso una saturazione superiore, ma l'assenza di una sola di queste caratteristiche salienti causa la sua completa inibizione.

Questo è possibile grazie all'utilizzo di una curva sigmoideale per l'unità lessicale. La massima saturazione per le sinapsi inibitorie è scelta in modo tale che le singole caratteristiche della rete semantica, che non partecipano alla semantica del concetto, siano in grado di portare l'attività della word-form verso la saturazione dell'inibizione.

2.3.4 Limiti nell'uso della soglia post-sinaptica fissa.

Utilizzando la legge di Hebb con una diversa soglia pre-sinaptica e post-sinaptica (Eq.(8)) si è in grado di distinguere tra le caratteristiche marginali e quelle salienti, in base alla loro frequenza di occorrenza. Il comportamento risulta, tuttavia, accettabile solo per le caratteristiche distintive o per le caratteristiche totalmente condivise. Contrariamente, questa legge è inadeguata per descrivere una caratteristica saliente parzialmente condivisa. Per esempio, consideriamo le caratteristiche “vola” e “ha due zampe” che, osservando la tassonomia, sono condivise da diversi uccelli. La caratteristica “ha due zampe” è saliente per tutti e sei gli uccelli (si verifica nel 70% dei casi) e, dopo l'addestramento, viene evocato nella categoria uccello. Ma, cosa succede per la caratteristica “vola”? Secondo la tassonomia, questa non si verifica per “gallina” e “gallo”, ma si verifica con un'elevata frequenza (70%) negli uccelli che volano (“oca”, “gufo”, “pappagallo” e “piccione”) e dopo l'addestramento diventa saliente per questi quattro uccelli. Considerando la connessione tra “vola” e “ha due zampe”, dopo l'addestramento, la caratteristica “ha due zampe” si verifica nel 100% degli uccelli, in quanto saliente. La caratteristica “vola” si verifica nel 66% degli uccelli (ovvero è saliente nei 4/6 di essi). Con la soglia post-sinaptica $\vartheta_{post}^{SS} = 0.55$, si crea una sinapsi

non sola da “vola” verso “ha due zampe”, ma anche la sinapsi che va da “ha due zampe” verso “vola” e “vola” diventa saliente per tutti gli uccelli. Per evitare ciò, ovvero che “la gallina voli” potremmo incrementare la ϑ_{post}^{SS} a un valore molto elevato (tipici valori 0.7, 0.75). Questo porterebbe che solo le caratteristiche che si verificano più del 75 % delle volte diventino salienti.

Per risolvere tale problema, in questo lavoro si assume che *la soglia post-sinaptica nella legge di Hebb, aumenti con il numero di volte che si verifica la caratteristica pre-sinaptica*. In questo modo, non solo una caratteristica distintiva non è evocata da caratteristiche condivisa di un singolo membro, ma anche una caratteristica totalmente condivisa (“ha due zampe”) non evoca una parzialmente condivisa (“vola”).

2.4 Apprendimento con soglia variabile.

Consideriamo le sinapsi $W_{j,i}$ che collegano la caratteristica pre-sinaptica i con quella post-sinaptica j nella rete semantica. Assumendo che la soglia post-sinaptica dipenda dal numero di volte che la caratteristica pre-sinaptica si verifichi, questa diventa funzione di i . La legge di Hebb diventa:

$$\Delta W_{j,i}^{SS} = \gamma_{j,i}^{SS} (x_j^S - \vartheta_{post,i}^{SS}) (x_i^S - \vartheta_{pre}^{SS}) \quad (15)$$

dove il pedice i della soglia post-sinaptica, $\vartheta_{post,i}^{SS}$, indica che essa dipende dalla caratteristica pre-sinaptica.

Si è indicato con N_i il numero medio di volte che si verifica la caratteristica i durante un’epoca (ricordando che, durante un’epoca, tutti i concetti vengono presentati almeno una volta). Quindi, dopo l’addestramento, N_i sarà maggiore per le caratteristiche salienti distintive

che per le caratteristiche marginali distintive, ma sarò ancora più elevato per le caratteristiche condivise (specialmente se salienti).

Prendendo alcuni esempi: la caratteristica “è indipendente” marginale per il gatto, dopo l’addestramento non viene evocata spontaneamente, e si verifica nel 45% dei casi ($N_i=0.45$). La caratteristica “miagola” è saliente per il gatto; all’inizio dell’addestramento si è fissato $N_i =0.7$, dopo l’addestramento viene evocata il 100% delle volte quindi $N_i =1.0$. Un’ulteriore esempio è dato dalla caratteristica “vola” ,saliente per quattro uccelli (oca, gufo, pappagallo e piccione) , non si verifica mai per gallina e gallo. Ne consegue che prima dell’addestramento $N_i =0.7 \cdot 4=2.8$, e dopo l’addestramento, assumendo che non viene associato alla gallina e al gallo $N_i =4$. La caratteristica “ha due zampe” è totalmente condivisa da tutti e sei gli uccelli; prima dell’addestramento $N_i=0.7 \cdot 6=4.2$, ma dopo l’addestramento $N_i =6$.

Quindi la soglia post-sinaptica deve aumentare con N_i . Possiamo scrivere:

$$\vartheta_{post,i}^{SS} = \begin{cases} \vartheta_{post}^{SS} + \Delta\vartheta^{SS}(N_i - 1) & \text{if } N_i > 1 \\ \vartheta_{post}^{SS} & \text{if } N_i \leq 1 \end{cases} \quad (16)$$

$\vartheta_{post,i}^{SS}$ fissa il valore di base per tutte le caratteristiche distintive, $\Delta\vartheta^{SS}$ è il rateo di incremento della soglia post-sinaptica. È importante notare che le caratteristiche distintive non possono avere $N_i > 1$, e quindi sarà $\vartheta_{post,i}^{SS} = \vartheta_{post}^{SS}$. Questo significa che le caratteristiche distintive possono creare facilmente sinapsi verso le caratteristiche condivise, ma non avviene il contrario.

Si è anche assunto che :

$$\vartheta_{post,i}^{SS} \leq \vartheta_{post-sat}^{SS} \quad \forall i \quad (17)$$

L'Eq. (16) implica che le caratteristiche distintive non possono ricevere sinapsi da una condivisa, poiché la soglia post-sinaptica è molto elevata. Al contrario, le caratteristiche salienti condivise, ricevono da quelle marginali, poiché la soglia post-sinaptica rimane bassa. Infine, ma molto importante, le caratteristiche totalmente condivise (tipo “ha due zampe”) riceve sinapsi dalle caratteristiche parzialmente condivise (tipo “vola”), ma non succede il contrario, poiché la soglia post-sinaptica è molto alta.

Capitolo 3

3 METODO

3.1 Scelta dei dati.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando una tassonomia di concetti scelta da un database fornito dal Dipartimento di Neuropsicologia dell'ospedale San Raffaele di Milano (Prof. Stefano Cappa, Dott.ssa Eleonora Catricalà). L'intero database contiene 82 concetti, suddivisi in viventi e non viventi, e in categorie come "animali", "veicoli", "verdure". All'interno del database troviamo le seguenti voci:

- *Dominance*: il numero di partecipanti (tra 3 e 20) che hanno elencato una proprietà per un determinato concetto.
- *Frequency*: il numero di concetti in cui una data caratteristica appare rispetto a tutti i concetti del database;
- *Distinctiveness*: misura il carattere distintivo, il numero di concetti a cui appartiene una certa proprietà semantica, diviso il numero totale di concetti nel database;
- *Semantic relevance*: combinazione non lineare tra la dominance e il carattere distintivo;
- *Frequency category*: il numero di concetti per cui una data caratteristica appare, rispetto a tutti i concetti di ciascuna categoria;
- *Distinctiveness di Garrard*: consente di determinare se una proprietà, tra i vari concetti che formano una categoria, sia o meno distintiva. Ad un valore alto corrisponde una proprietà distintiva per quel concetto, se invece, il valore è basso, la proprietà è comune a molti concetti.

Per i nostri studi, su 82 concetti abbiamo utilizzato 12 animali e 11 oggetti. Per individuare quali categorie utilizzare, e quali concetti scegliere all'interno di queste categorie, abbiamo utilizzato la vicinanza semantica. In particolare, la categoria “animali” è caratterizzata da membri con maggiore differenza semantica, mentre la categoria “oggetti” presenta membri semanticamente più vicini tra loro, come possiamo vedere dalla *Tab.3.1*, dove facciamo riferimento alla categoria “arredo”. In particolare, abbiamo preso concetti molto vicini semanticamente tra di loro, cioè che hanno molte caratteristiche in comune (es. poltrona e divano), per rendere ancora più difficile il compito alla nostra rete, cioè il riconoscimento di un oggetto.

ARREDO/FURNITURE	divano	lampada	letto	libreria	mappamondo	poltrona	scrivania	sedia	tavolo
divano	x								
lampada	15,89	x							
letto	13,85	15,36	x						
libreria	14,79	14,07	12,86	x					
mappamondo	15,47	13,37	15,13	13,52	x				
poltrona	7,30	14,50	13,40	13,56	14,29	x			
scrivania	16,44	15,84	13,92	12,45	15,34	15,31	x		
sedia	13,70	15,32	13,57	12,84	14,53	12,47	12,55	x	
tavolo	16,75	15,73	14,76	13,28	14,73	15,82	10,78	11,07	x

Tab.3.1 Tra poltrona e divano abbiamo un valore molto basso che indica una maggiore vicinanza semantica.

Per decidere se la proprietà del concetto è saliente o marginale abbiamo calcolato la media delle voci *Dominance* e *Semantic relevance* per ogni concetto. Le proprietà scelte come salienti hanno un valore superiore alla media in entrambe le voci. In alcuni casi, però, le proprietà non hanno sia il valore di *Dominance* che di *Semantic relevance* superiore alla media e in quel caso si è osservato solo la voce *Semantic relevance* Fig.3.1 . Le proprietà marginali sono quelle che hanno il valore delle voci *Dominance* e *Semantic relevance* sotto la media.

feature	concept	dominance	frequency	distinctiveness	semantic relevance	frequency_category	Distinctiveness_Garrard
è bianco	mucca	3	10	8,200	9,107	4	0,235
è commestibile	mucca	8	29	2,828	11,997	5	0,294
è grande	mucca	8	16	5,125	18,860	8	0,471
è marrone	mucca	7	13	6,308	18,600	9	0,529
è mite	mucca	4	5	16,400	16,142	5	0,294
è nero	mucca	3	6	13,667	11,318	3	0,176
è un animale	mucca	14	23	3,565	25,676	17	1,000
è un mammifero	mucca	11	17	4,824	24,971	17	1,000
è un ruminante	mucca	5	1	82,000	31,788	1	0,059
ha gli occhi	mucca	4	8	10,250	13,430	6	0,353
ha gli occhi grandi	mucca	3	1	82,000	19,073	1	0,059
ha il naso	mucca	4	3	27,333	19,090	3	0,176
ha il pelo	mucca	6	13	6,308	15,943	13	0,765
ha il pelo corto	mucca	4	5	16,400	16,142	5	0,294
ha la coda	mucca	12	19	4,316	25,315	17	1,000
ha la coda con ciuffo	mucca	5	2	41,000	26,788	2	0,118
ha la coda lunga	mucca	3	7	11,714	10,651	7	0,412
ha le corna	mucca	9	2	41,000	48,218	2	0,118
ha le macchie	mucca	7	2	41,000	37,503	2	0,118
ha le mammelle	mucca	6	1	82,000	38,145	1	0,059
ha le narici	mucca	3	1	82,000	19,073	1	0,059
ha le orecchie	mucca	4	14	5,857	10,201	13	0,765
ha le zampe	mucca	10	23	3,565	18,340	17	1,000
ha quattro zampe	mucca	12	17	4,824	27,241	17	1,000
mangia	mucca	11	23	3,565	20,174	17	1,000
mangia l'erba	mucca	10	11	7,455	28,981	11	0,647
muggisce	mucca	5	1	82,000	31,788	1	0,059
pascola	mucca	5	2	41,000	26,788	2	0,118
si alleva	mucca	9	8	10,250	30,218	5	0,294
si ricava il latte	mucca	16	2	41,000	85,721	2	0,118
si ricava la carne	mucca	5	2	41,000	26,788	2	0,118
si riproduce	mucca	4	15	5,467	9,803	12	0,706
vive nella fattoria	mucca	5	6	13,667	18,863	4	0,235
media		6,81818182			24,022		

Fig.3.1: Si è evidenziato in verde le proprietà salienti distintive del concetto " mucca" che hanno sia il valore Dominance che Semantic relevance superiore alla media, mentre in rosso la proprietà saliente distintiva che ha solo il valore Semantic relevance superiore alla media.

3.2 Fasi dell'addestramento.

Le fasi dell'addestramento sono due: una semantica (*fase 1*) dove vengono presentate le singole caratteristiche di un dato concetto, scelte da noi dal database. L'altra fase: lessicale (*fase 2*) consiste nel presentare al modello le caratteristiche che descrivono un concetto, addestrate nella *fase 1*, più la parola ad esso associato. Nella fase 2 vengono usate anche le parole che designano le categorie.

Nella *fase 1* il soggetto fa esperienza diretta con il concetto, apprende la sua semantica senza, però, associarlo ad una parola. Nella *fase 1*, infatti, si ipotizza che il soggetto appenda prima la rappresentazione multi-modale del concetto e poi la associ ad una parola.

Durante la *fase 1* il modello riceve in ingresso le proprietà dei 12 animali e 11 oggetti, la rete lessicale non riceve nessun input ($I_j^L = 0$ Eq. (6)). Per procedere all'addestramento le sinapsi vengono inizializzate ad un valore nullo. Se la proprietà non è percepita $I_j^S = 0$, altrimenti $I_j^S = 1$. Le sinapsi vengono addestrate con l'equazioni (8)-(10). La probabilità di verificarsi di una sinapsi è legata alla frequenza che abbiamo attribuito alle caratteristiche. La *fase 1* consiste in 1000 epoche, in ciascuna delle quali le caratteristiche vengono presentate separatamente in ordine casuale, quindi ogni concetto compare una sola volta durante ogni prova. Alla fine dell'addestramento le sinapsi hanno raggiunto un valore che è mantenuto fisso durante la *fase 2*.

Nella *fase 2*, fase di addestramento lessicale, vengono dati come input al modello sia le word-form (parole) che le proprietà associate al concetto, già addestrate nella *fase 1*. In questa fase, quindi, le sinapsi ad inizio addestramento hanno il valore finale della fase semantica. Le sinapsi che si creano legano, quindi, gli aspetti semantici a quelli lessicali. Questa fase consiste in 1000 epoche dove, per ciascuna epoca, vengono usate tutte le parole (comprese quelle che rappresentano categorie) fornite in ordine random, e le proprietà dei relativi concetti sono presentate insieme alla parola associata. In questa fase, oltre ai concetti vengono presentati anche le categorie, caratterizzate dalle rispettive proprietà insieme alla parola corrispondente (ad esempio viene data la categoria "animale" con le sole proprietà "mangia" e "dorme"). Nella fase lessicale si ipotizza un apprendimento scolastico, come se ci fosse un maestro che insegna all'alunno le proprietà associate ad una data categoria (ad esempio l'animale è descritto dalle caratteristiche "mangia" e "dorme") e l'alunno si costruisce un'idea del concetto di animale.

Alla fine della *fase 1* le proprietà salienti di ciascun oggetto sono evocate automaticamente anche in assenza di una parte del contenuto, grazie alle sinapsi auto-associative che si realizzano tra i neuroni dell'area semantica. Quindi, ad esempio, se la rete ha già imparato a riconoscere come è fatto il “cane”, anche se non riceve più in input una delle proprietà salienti che lo caratterizzano, è in grado di recuperarla da sola. Di conseguenza, tutte le proprietà salienti sono associate alla corrispondente parola dopo la *fase 2*.

Capitolo 4.

4 MODELLO ANIMALI

4.1 Tassonomia modello animali

Il primo modello che descriviamo è composto da 12 animali scelti dal database in base alla vicinanza semantica. Ogni animale è descritto da: proprietà distintive che lo caratterizzano; proprietà parzialmente condivise che portano alla formazione delle categorie: “mammifero”, “erbivoro” e “uccello” e da proprietà totalmente condivise che portano alla formazione della supercategoria “animale”.

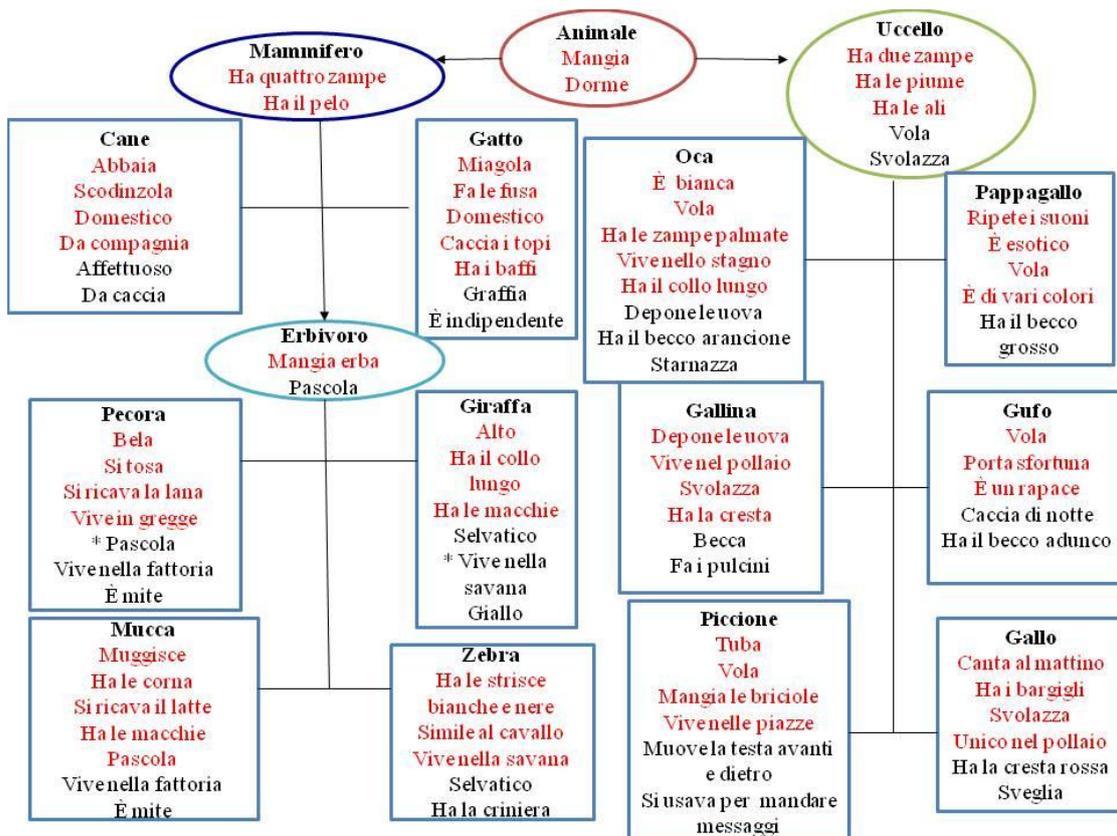


Fig.4.1: Descrive la tassonomia del modello animali. Gli animali sono stati scelti in base alla vicinanza semantica. Le proprietà elencate sotto ogni animale sono distintive e lo caratterizzano; in rosso sono salienti mentre in nero sono marginali. Le proprietà in comune, invece, sono elencate nel box della categoria che formano. L'asterisco indica le proprietà che dopo la fase di addestramento, da marginali sono diventate salienti.

La salienza delle caratteristiche è data unicamente dalla frequenza con la quale si verificano. In questo modello, addestrato con una soglia post-sinaptica variabile ($\vartheta_{post,j}^{SS} = 0.55 \div 0.95$). Tale soglia, confrontata con la frequenza di occorrenza, determina se una proprietà è saliente o meno. Si è scelto di utilizzare una frequenza pari al 70% per le proprietà salienti e una frequenza pari al 40% per le marginali, come si può osservare nella *Tabella 4.1*. Nella *Tabella 4.1* sono elencate anche le posizioni delle proprietà all'interno della rete.

Proprietà	Percentuali	Posizioni
mangia	70%	2
dorme;	70%	3
ha quattro zampe;	70%	4
ha il pelo;	70%	5
ha due zampe;	70%	6
ha le piume;	70%	7
ha le ali	70%	8
abbaia;	70%	9
scodinzola;	70%	10
domestico;	70%	11
da compagnia;	70%	12
affettuoso;	40%	13
da caccia;	40%	14
miagola;	70%	15
fa le fusa;	70%	16
caccia i topi;	70%	17
ha i baffi;	70%	18
graffia;	40%	19
è indipendente;	40%	20
mangia erba;	70%	21
bela;	70%	22
si tosa;	70%	23
si ricava la lana;	70%	24
vive in gregge;	70%	25
pascola mucca;	70%	26
pascola pecora;	40%	26
è mite	40%	27
muggisce;	70%	28
ha le corna;	70%	29
si ricava il latte;	70%	30
ha le macchie;	70%	31
vive nella fattoria;	40%	32
ha le strisce bianche e nere;	70%	33
simile al cavallo;	70%	34

vive nella savana zebra;	70%	35
vive nella savana giraffa;	40%	35
selvatico;	40%	36
ha la criniera	40%	37
alto;	70%	38
ha il collo lungo;	70%	39
giallo;	40%	40
bianca;	70%	41
vola;	70%	42
ha la zampe palmate;	70%	43
vive nello stagno;	70%	44
depone le uova oca;	40%	45
depone le uova gallina;	70%	45
ha il becco arancione;	40%	46
starnazza;	40%	47
vive nel pollaio;	70%	48
ha la cresta;	70%	49
fa i pulcini;	70%	50
becca;	70%	51
svolazza;	70%	52
canta al mattino;	70%	53
ha i bargigli;	70%	54
unico nel pollaio;	70%	55
ha la cresta rossa ;	40%	56
sveglia;	40%	57
ripete i suoni;	70%	58
esotico;	70%	59
di vari colori;	70%	60
ha il becco grosso;	40%	61
porta sfortuna;	70%	62
rapace;	70%	63
caccia di notte;	40%	64
ha il becco adunco;	40%	65
tuba;	70%	66
mangia le briciole;	70%	67
vive nelle piazze;	70%	68
muove la testa avanti e dietro;	40%	69
si usava per mandare messaggi;	40%	70

Tab.4.1: Nella prima colonna sono elencate le proprietà del modello, nella seconda sono elencate le percentuali di occorrenza di ogni proprietà, nella terza colonna, invece, sono elencate le posizioni di ciascuna proprietà all'interno della rete semantica.

Concetto/ parola	Proprietà	Posizione
Cane	2,3,4,5,9,10,11,12,13,14	1
Gatto	2,3,4,5,11,15,16,17,18,19,20	2
Pecora	2,3,4,5,21,22,23,24,25,26,27,32	3
Mucca	2,3,4,5,21,26,28,29,30,31,32	4
Zebra	2,3,4,5,21,33,34,35,36,37	5
Giraffa	2,3,4,5,21,31,35,36,38,39,40	6
Oca	2,3,6,7,8,39,41,42,43,44,45,46,47	7
Gallina	2,3,6,7,8,45,48,49,50,51,52	8
Gallo	2,3,6,7,8,52,53,54,55,56,57	9
Pappagallo	2,3,6,7,8,42,58,59,60,61	10
Gufo	2,3,6,7,8,42,62,63,64,65	11
Piccione	2,3,6,7,8,42,66,67,68,69,70	12
Mammifero	2,3,4,5	13
Uccello	2,3,6,7,8,42,52	14
Animale	2,3	15
Erbivoro	2,3,4,5,21,26	16

Tab.4.2 Nella prima colonna sono riportati i nomi dei concetti e quindi la parola associata ad ogni unità lessicale. Nella seconda colonna ci sono tutte le proprietà associate ad ogni concetto, riportate sottoforma di posizione all'interno della rete semantica. Nella terza colonna sono riportate le posizioni di ciascuna parola nella rete lessicale.

4.1.1 Parametri.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i parametri che useremo nella fase di addestramento sia della parte semantica che lessicale.

Significato	Simbolo	Valore
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide	p^S	100
Posizione sigmoide	ϕ^S	0.55
Soglia post-sinaptica SS	ϑ_{post}^{SS}	$0.55 \div 0.95$
Soglia pre-sinaptica SS	ϑ_{pre}^{SS}	0.01
Rateo apprendimento SS	γ_0	0.02
Massima forza sinaptica SS	W_{max}	0.8

Tab.4.3: Valori dei parametri per l'apprendimento semantico.

Significato	Simbolo	Valore
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide punto centrale	p^L	50
Posizione sigmoide	ϕ^L	0.75
Soglia post-sinaptica SL	ϑ_{post}^{SL}	0.55
Soglia pre-sinaptica SL	ϑ_{pre}^{SL}	0.01
Rateo apprendimento SL	γ^{SL}	0.01
Massima forza sinaptica SL	W_{max}^{SL}	0.8
Soglia post-sinaptica LS	ϑ_{post}^{LS}	0.05

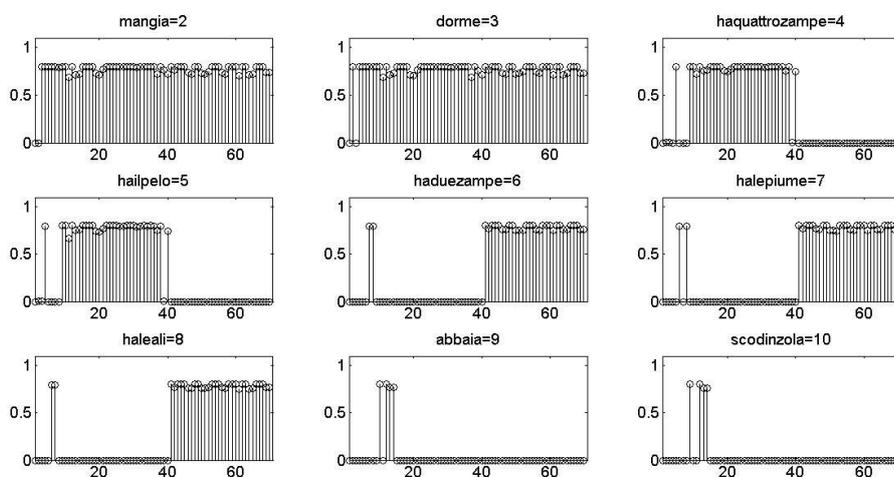
Soglia pre-sinaptica LS	ϑ_{pre}^{LS}	0.55
Rateo apprendimento LS	γ^{LS}	0.01
Somma massima delle sinapsi LS	Γ_{max}	1

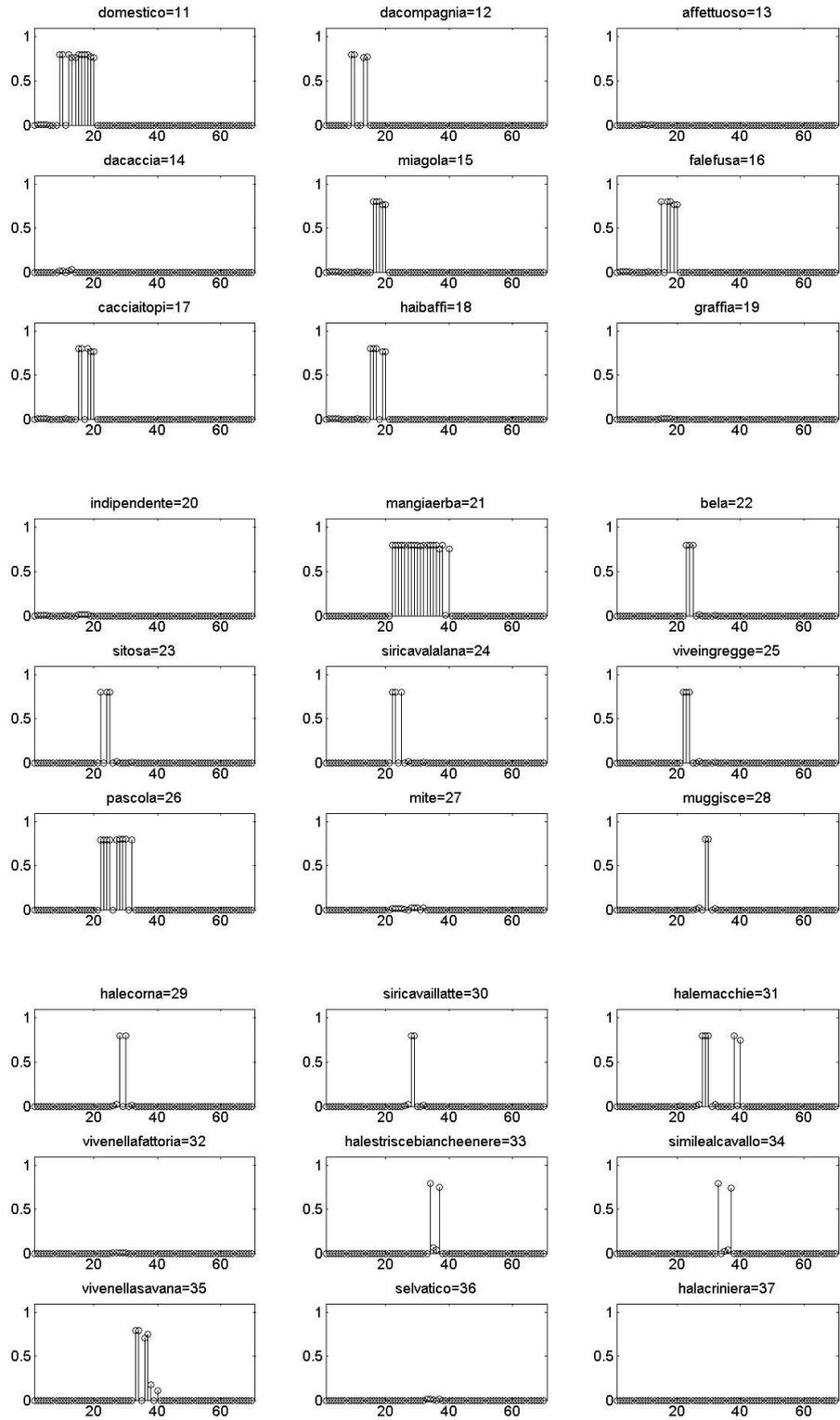
Tab.4.4: Valori dei parametri per l'apprendimento lessicale

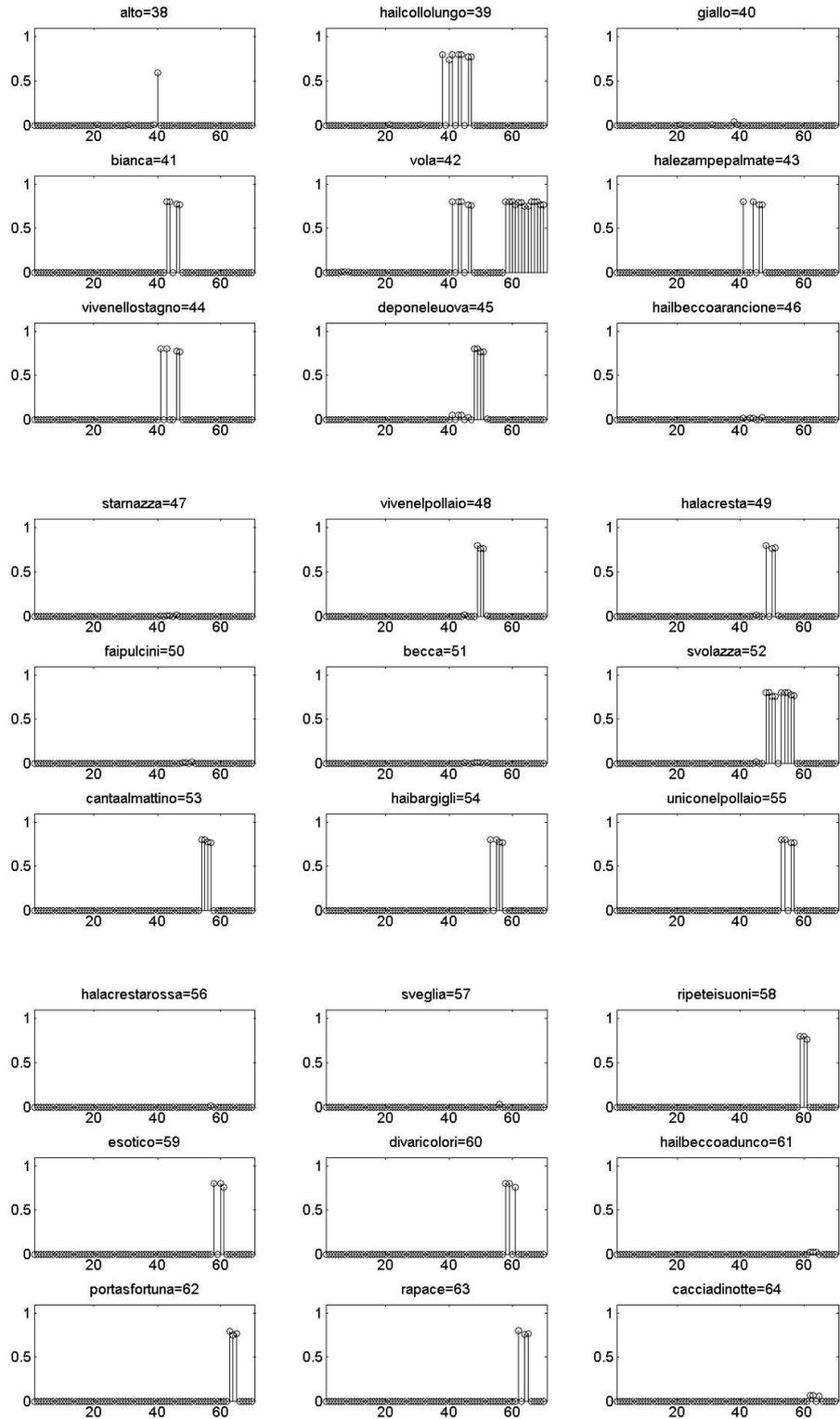
4.2 Risultati

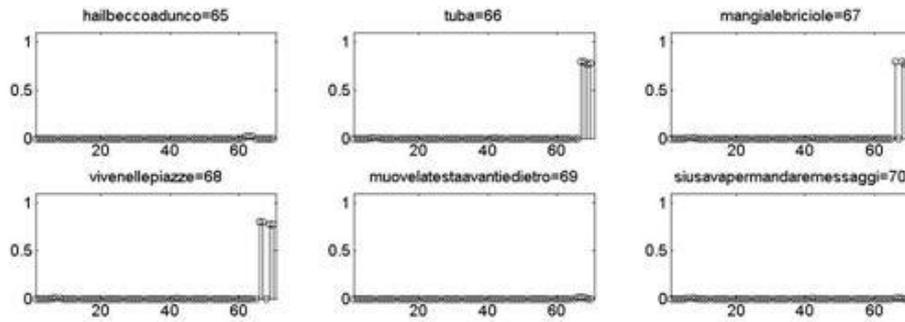
4.2.1 Addestramento semantico (fase 1).

L'addestramento consiste in 1000 epoche, dove per ogni epoca vengono presentati tutti gli animali una volta ciascuno in modo random una per volta. I risultati ottenuti dopo questa fase di addestramento sono riportati nei grafici sottostanti. I grafici hanno in ascissa le 69 proprietà del modello (per le posizioni di ogni proprietà rifarsi alla Tab.4.1), e in ordinata la forza sinaptica.





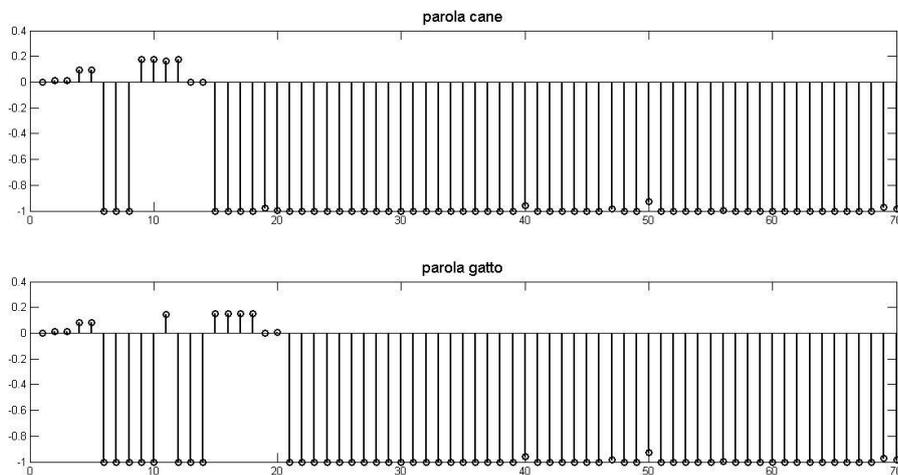


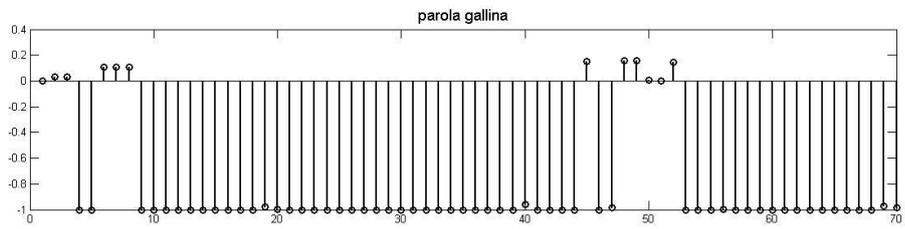
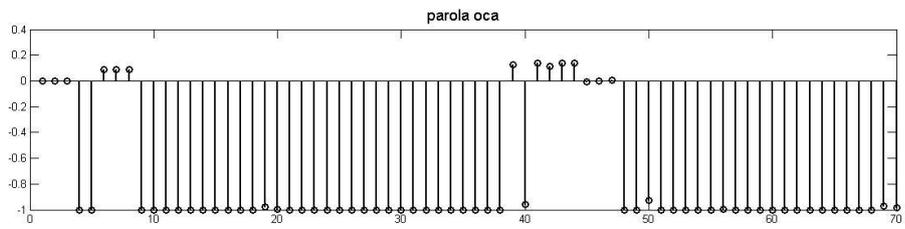
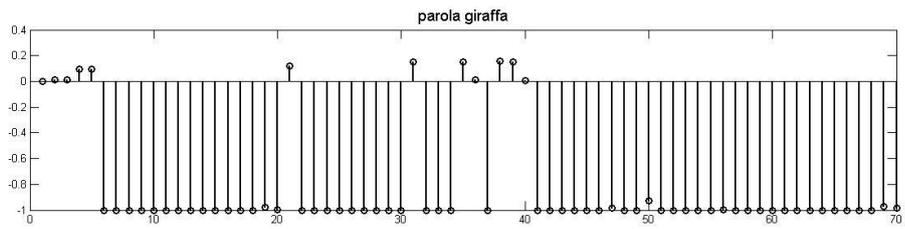
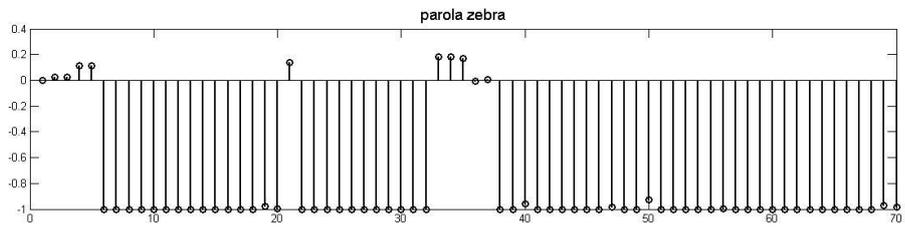
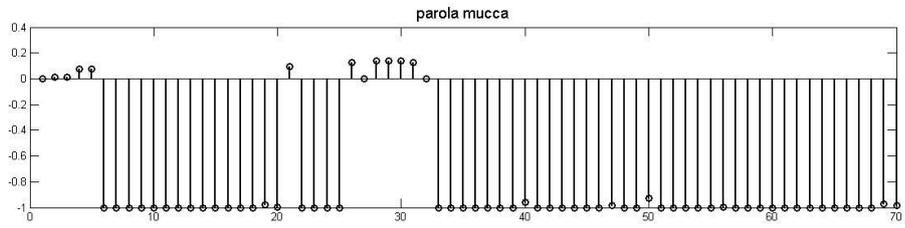
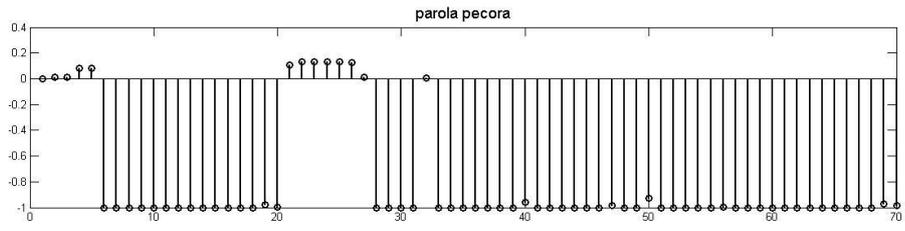


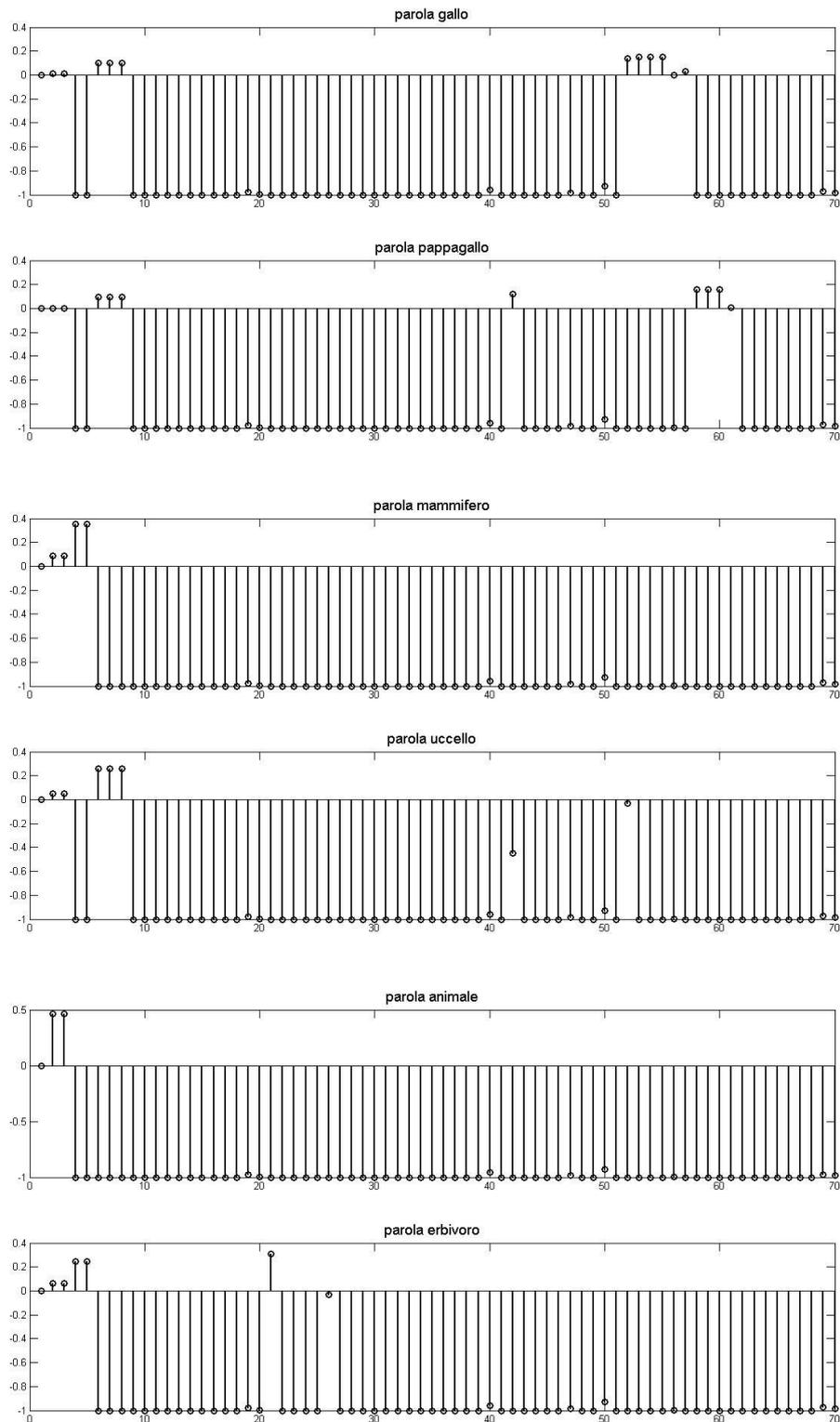
Le proprietà ricevono sinapsi dalle altre proprietà del concetto, tranne che da se stesse. Le proprietà marginali non ricevono sinapsi da nessuna proprietà. Le sinapsi con maggiore forza sono quelle che arrivano dalle proprietà salienti.

4.2.2 Addestramento lessicale (fase 2).

Dopo la fase di addestramento lessicale, vediamo come si comporta il modello.

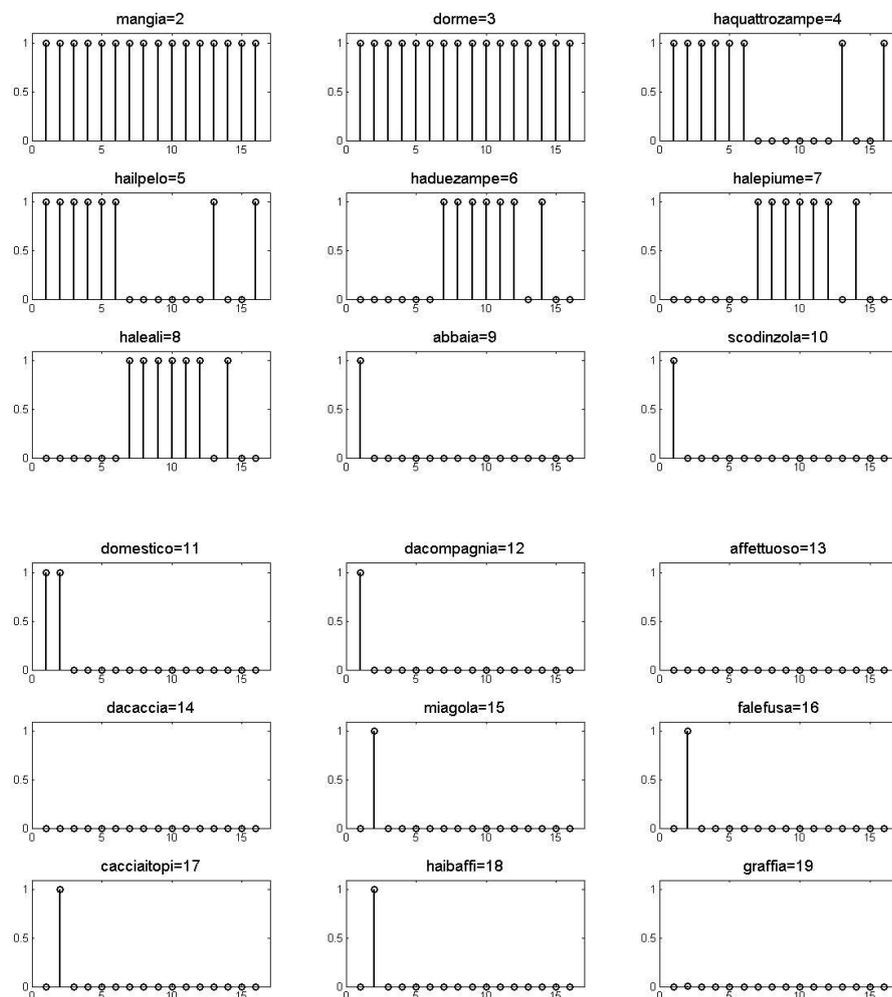


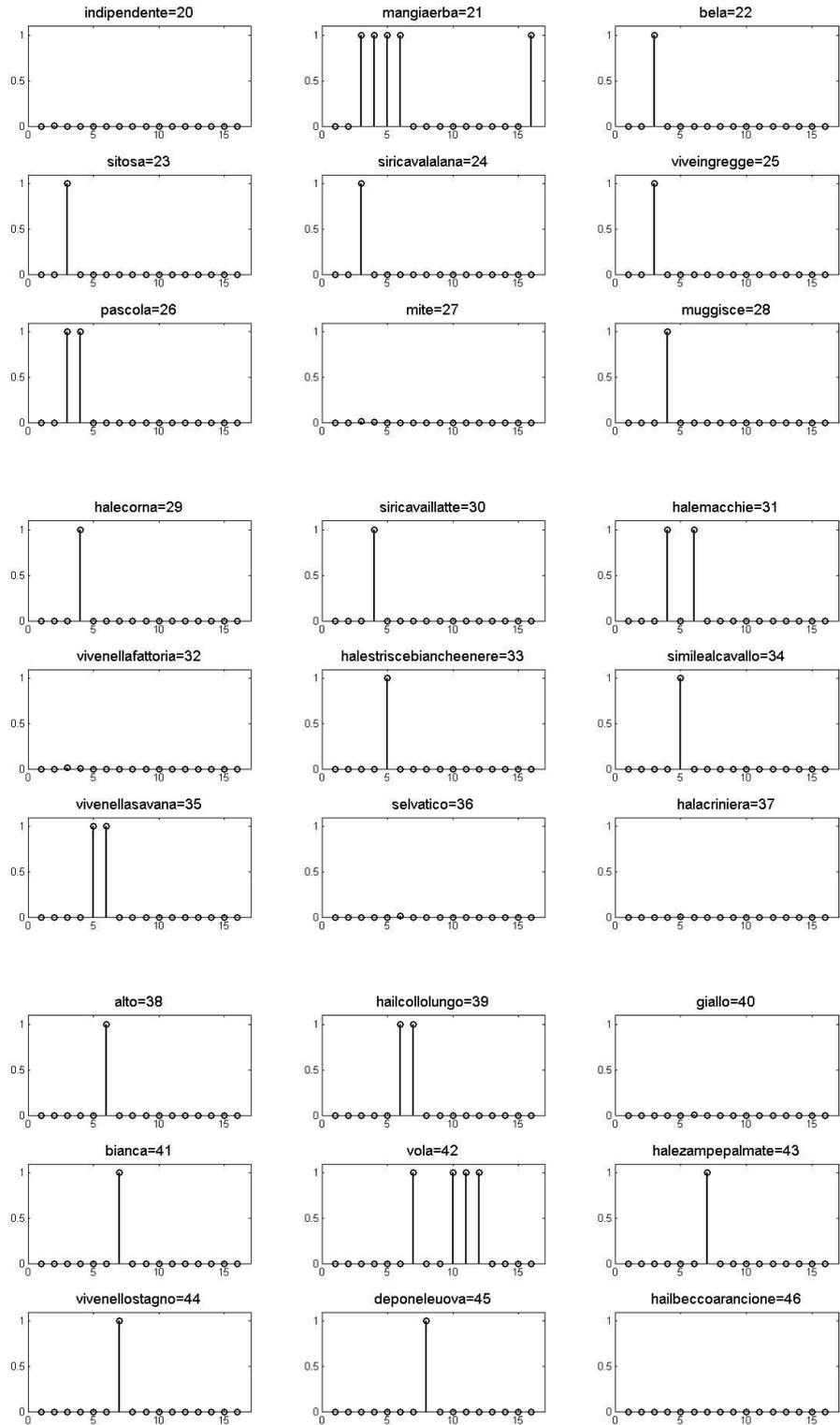


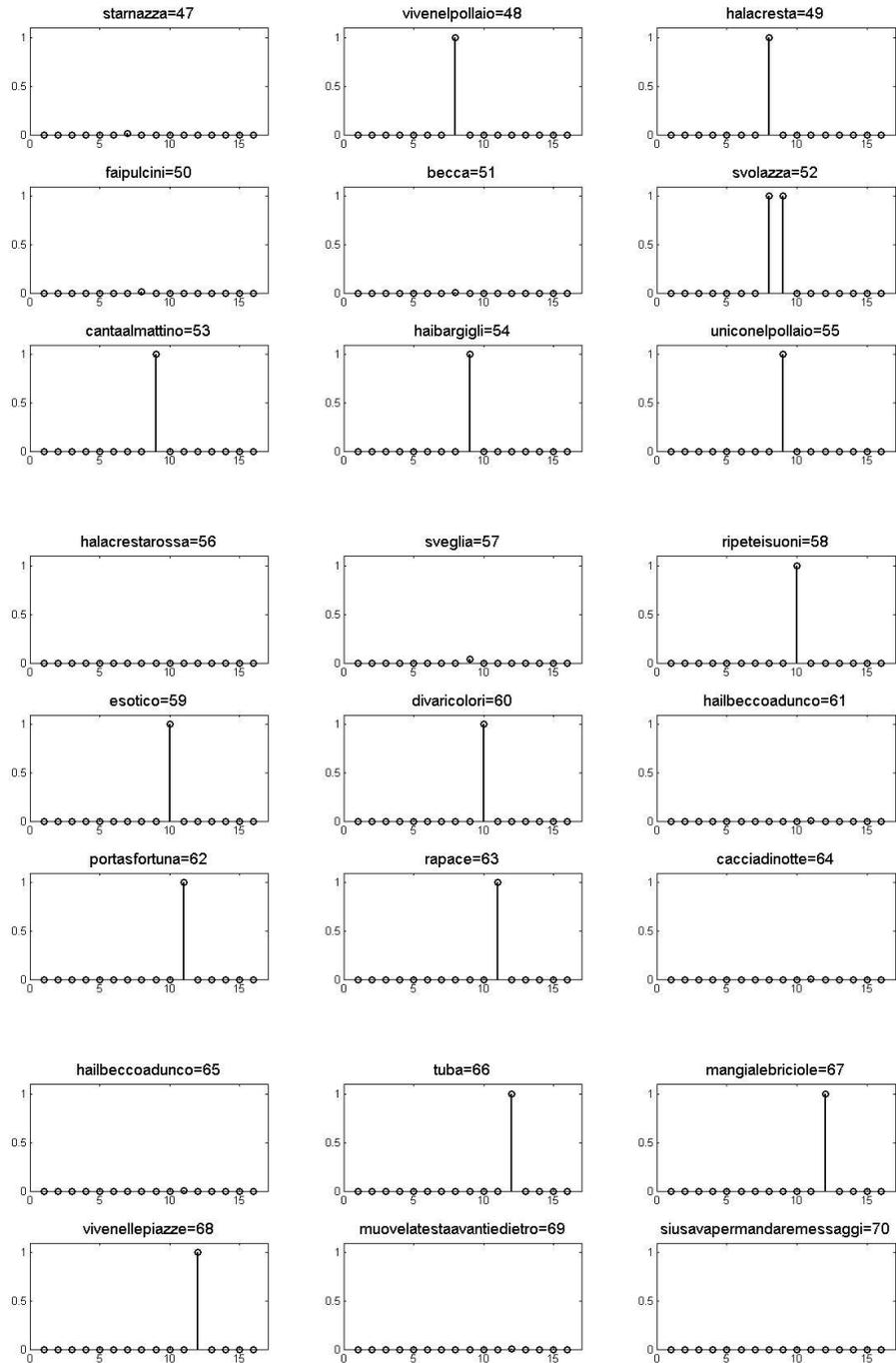


Come possiamo vedere, l'addestramento fornisce i risultati desiderati. Le parole ricevono le sinapsi dalle proprietà che lo caratterizzano, con maggiore forza per le sinapsi delle proprietà salienti.

I grafici seguenti mostrano la forza delle sinapsi che entrano nelle singole proprietà dalle unità lessicali, ovvero la proprietà “mangia” riceve sinapsi da tutti i concetti, mentre la proprietà “abbaia” (saliente per cane) riceve la sinapsi solo dal concetto “cane”. La proprietà marginale per “cane”, “da caccia” non riceve nessuna sinapsi. La proprietà parzialmente condivisa “ha le piume” riceve sinapsi da: “oca”, “gallina”, “gallo”, “pappagallo”, “gufo”, “piccione” e “uccello”. Il modello funziona bene, quindi non ci saranno problemi a riconoscere gli animali durante le simulazioni.







4.2.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti.

Simuliamo alcuni compiti di denominazione dei concetti. Dando in ingresso al modello una caratteristica saliente vediamo se richiama il concetto ad essa associato.

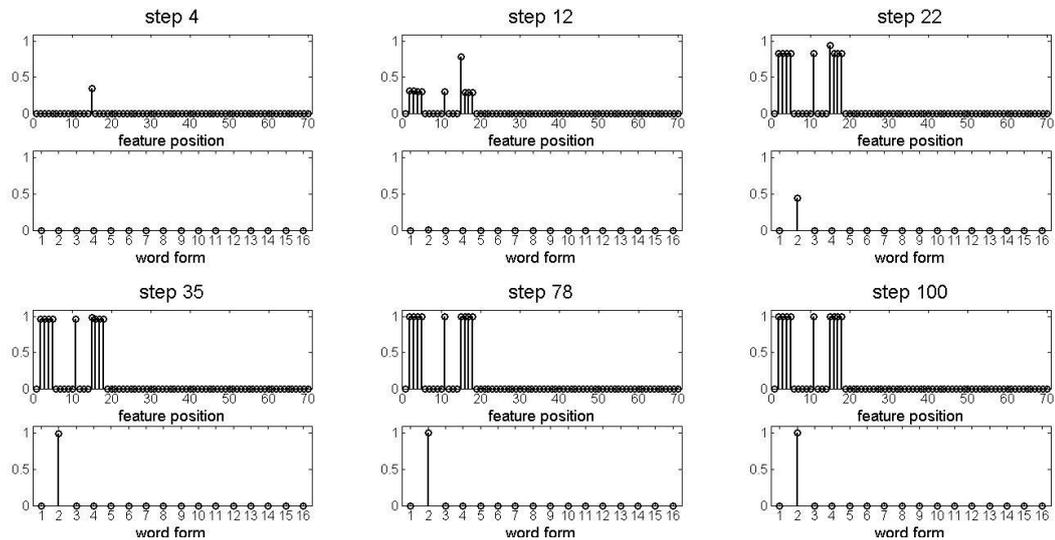


Fig.4.2. Diamo in ingresso la caratteristica “miagola”(15), essa deve richiamare le proprietà salienti ad esso associato: “mangia”(2), “dorme”(3), “ha 4 zampe”(4), “ha il pelo”(5), “domestico”(11), “fa le fusa”(16), “caccia i topi”(17), “ha i baffi”(18) e quindi la parola “gatto”.

Dando in ingresso una proprietà marginale essa richiama tutte le proprietà salienti del concetto e la parola associata.

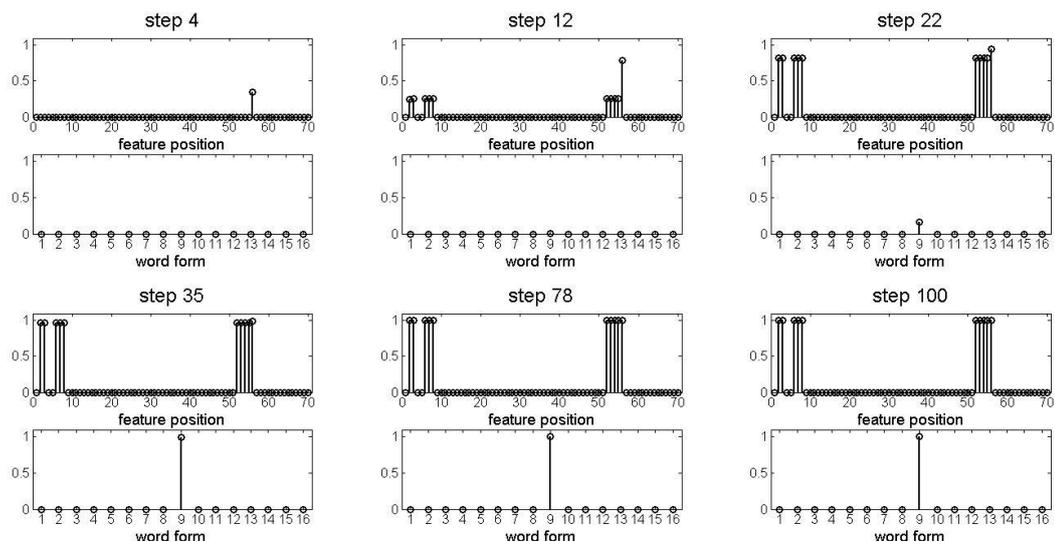


Fig.4.3. Dato in ingresso la proprietà marginale “ha la cresta”(56); essa richiama le proprietà salienti: “mangia”(2), “dorme”(3), “ha 2 zampe”(6), “ha le piume”(7), “ha le ali”(8), “svolazza”(52), “canta al mattino”(53), “ha i bargigli”(54), “unico nel pollaio”(55) e quindi la parola associata “gallo”.

Diamo in ingresso una proprietà parzialmente condivisa come “svolazza”, essa richiama la parola “uccello” e le proprietà associate alla parola.

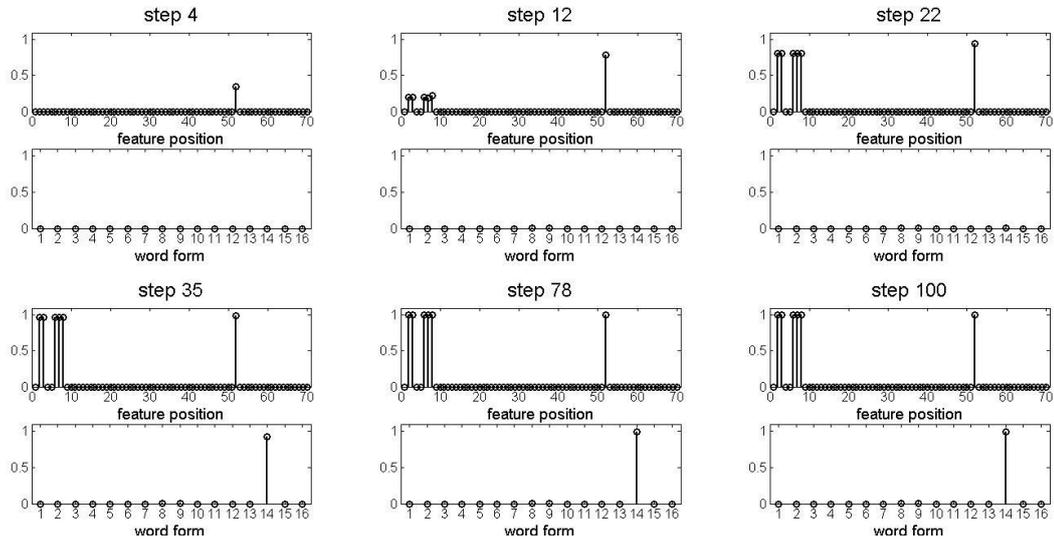


Fig.4.4. Diamo in ingresso la proprietà “svolazza” (52); essa richiama le proprietà “mangia”(2), “dorme”(3), “ha 2 zampe”(6) “ha le piume”(7), e “ha le ali” (8) e la parola associata “uccello”.

Se diamo in ingresso una proprietà totalmente condivisa “mangia” essa richiama la parola “animale”.

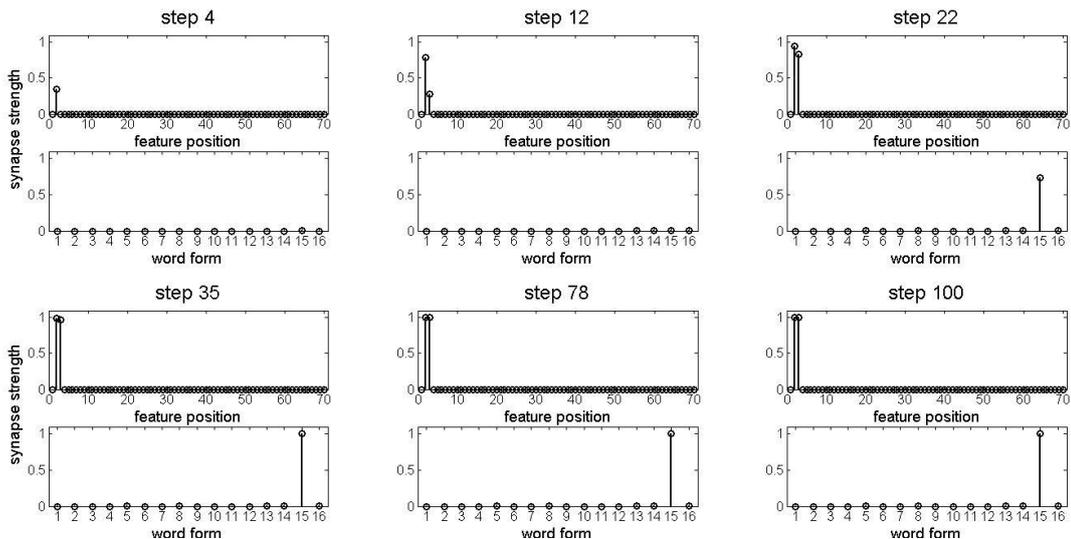


Fig.4.5. Diamo in ingresso la proprietà “mangia” (2); essa richiama la parola “animale” e la proprietà “dorme” (3)

Anche dando in ingresso la parola (esempio la parola “cane”), il modello richiama tutte le proprietà salienti associate al concetto.

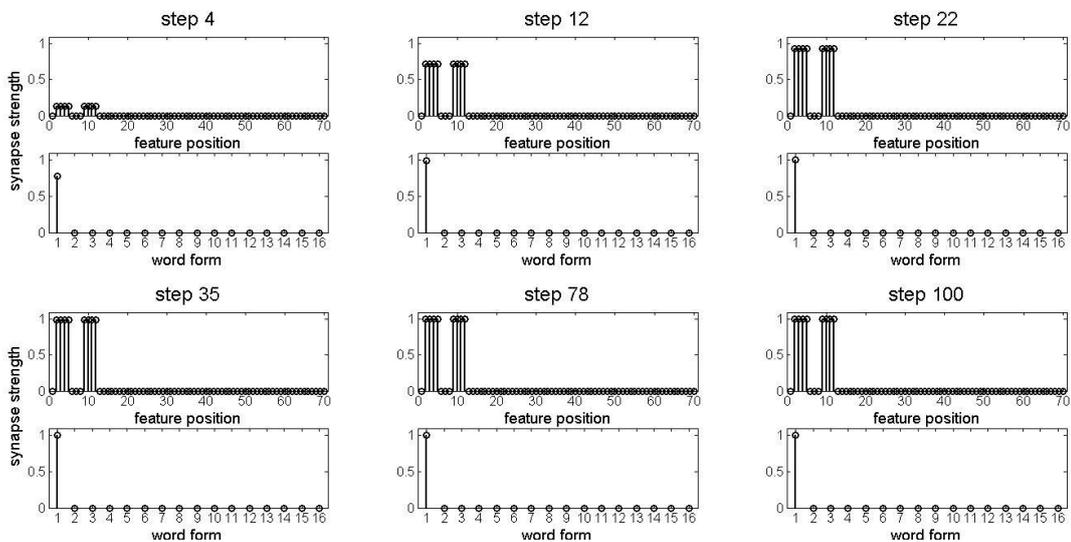


Fig.4.6: Diamo in ingresso la parola “cane”; essa richiama le proprietà salienti: “mangia” (2), “dorme” (3), “ha 4 zampe” (4), “ha il pelo” (5), “abbaia” (9), “scodinzola” (10), “domestico” (11), “da compagnia” (12).

4.3 Limiti del modello.

Talune volte quando due animali condividono una proprietà, che per un animale è saliente mentre per l’altro è marginale, dopo la fase di addestramento la proprietà diventa saliente per entrambi gli animali. Questo è il caso della proprietà “pascola”, marginale per “pecora”, saliente per “mucca”, che dopo la fase di addestramento essa diventa saliente anche per “pecora” e viene richiamata dalle altre proprietà associate all’ animale.

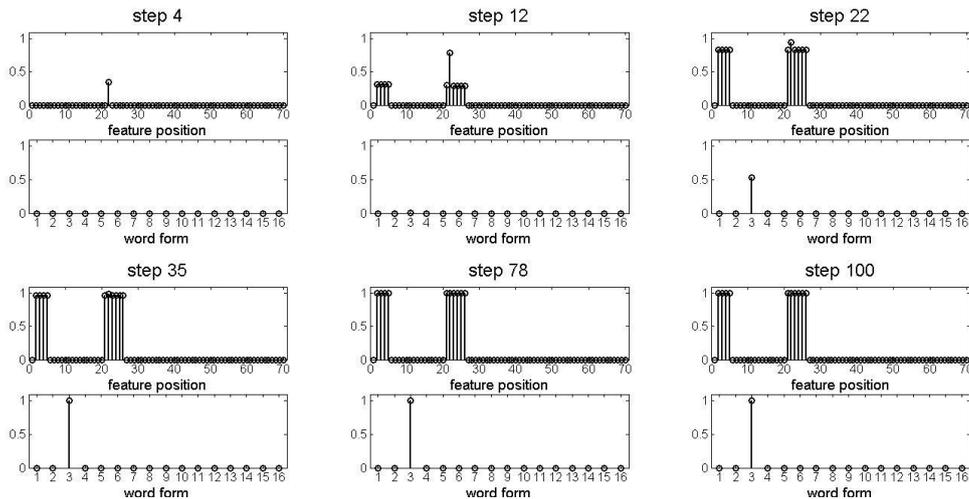


Fig.4.7: Dato in ingresso la proprietà “bela” (22), il modello richiama le proprietà salienti di “pecora” tra cui la proprietà “pascola” (26).

Discorso analogo si può fare per la proprietà “vive nella savana”, saliente per “zebra” e marginale per “giraffa”. Dopo la fase di addestramento essa diventa saliente anche per giraffa.

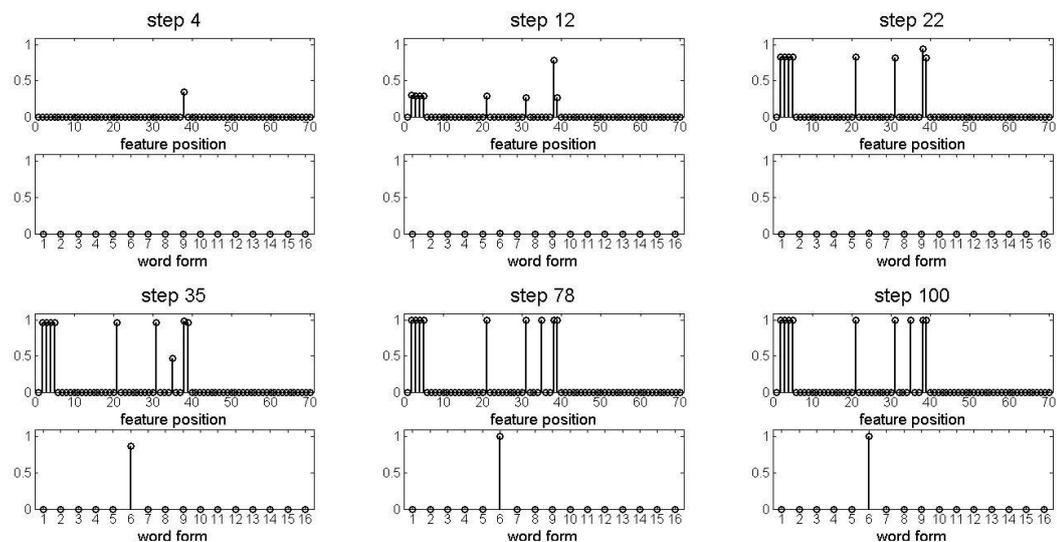


Fig.4.8. Dato in ingresso la proprietà “alto” (38), il modello richiama le proprietà salienti per giraffa compresa “vive nella savana” (35).

Questo porterebbe a pensare che se una proprietà è condivisa da due animali, ma saliente per uno e marginale per l'altro, dopo l'addestramento divenga saliente per entrambi. Questo non è sempre vero perché la proprietà “depone le uova”, saliente per “gallina” e marginale per “oca”, dopo la fase di addestramento per “oca” rimane marginale. Questo errore

è da imputare semplicemente alla randomizzazione delle creazione delle sinapsi.

Capitolo 5

5 MODELLO OGGETTI

5.1 Tassonomia oggetti.

Il secondo modello che descriviamo è composto da 11 oggetti scelti dal database in base alla vicinanza semantica. Ogni oggetto è descritto da: proprietà distintive che lo caratterizzano; proprietà parzialmente condivise che portano alla formazione delle categorie: “utensili da cucina” e “arredo” e da proprietà totalmente condivise che portano alla formazione della supercategoria “oggetti”.

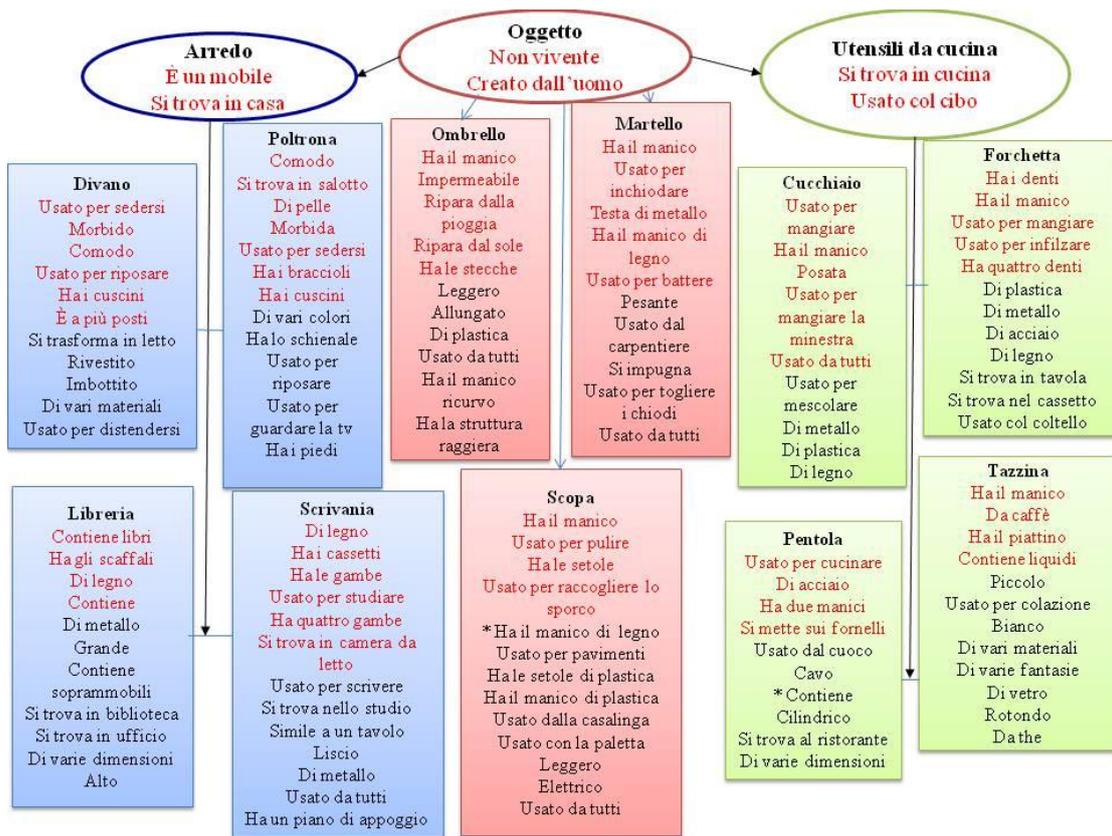


Fig.5.1: Descrive il modello oggetti. Ogni oggetto è stato scelto in base alla vicinanza semantica. Sotto ogni oggetto sono elencate le proprietà che lo caratterizzano (in rosso le salienti e in nero le marginali). Le proprietà condivise che portano alla formazione della categoria sono elencate nei rispettivi box. L'asterisco indica le proprietà che dopo la fase di addestramento da marginali diventano salienti.

La salienza delle caratteristiche è dato unicamente dalla frequenza con la quale si verificano. In questo modello, addestrato con una soglia post-sinaptica variabile ($\vartheta_{post,j}^{SS} = 0.55 \div 0.95$), Tale soglia, confrontata con la frequenza di occorrenza, determina se una proprietà è saliente o meno. Si è scelto di utilizzare una frequenza pari al 70% per le proprietà salienti e una frequenza pari al 40% per le marginali, come si può osservare nella *Tabella 5.1*. Nella *Tabella 5.1* sono elencate anche le posizioni delle proprietà all'interno della rete.

Proprietà	Percentuale	Posizione
creato dall'uomo;	70%	2
non vivente;	70%	3
si trova in cucina;	70%	4
usato col cibo;	70%	5
un mobile;	70%	6
si trova in casa;	70%	7
ha il manico;	70%	8
da caffè;	70%	9
ha il piattino;	70%	10
contiene liquidi;	70%	11
Piccolo;	40%	12
usato per colazione;	40%	13
bianco;	40%	14
di vari materiali;	40%	15
di varie fantasie;	40%	16
di vetro;	40%	17
rotondo;	40%	18
da the;	40%	19
ha i denti;	70%	20
usato per mangiare;	70%	21
usato per infilzare;	70%	22
ha quattro denti;	70%	23
di plastica;	40%	24
di metallo;	40%	25
di metallo (libreria);	70%	25
di acciaio;	40%	26
di acciaio (pentola);	70%	26
di legno;	40%	27
si trova in tavola;	40%	28
si trova nel cassetto;	40%	29
usato col coltello;	40%	30
posata;	70%	31
usato per mangiare la minestra;	70%	32
usato per mescolare;	40%	33

usato da tutti;	40%	34
usato da tutti (cucchiaino);	70%	34
usato per cucinare;	70%	35
ha due manici;	70%	36
si mette sui fornelli;	70%	37
usato dal cuoco;	40%	38
cavo;	40%	39
contiene;	40%	40
contiene (libreria);	70%	40
cilindrico;	40%	41
si trova al ristorante;	40%	42
di varie dimensioni;	40%	43
usato per inchiodare;	70%	44
testa di metallo;	70%	45
manico di legno;	70%	46
manico di legno (scopa);	40%	46
usato per battere;	70%	47
pesante;	40%	48
usato dal carpentiere;	40%	49
si impugna;	40%	50
usato per togliere i chiodi;	40%	51
usato per pulire;	70%	52
ha le setole;	70%	53
usato per raccogliere lo sporco;	70%	54
usato per pavimenti;	40%	55
ha le setole di plastica;	40%	56
manico di plastica;	40%	57
usato dalla casalinga;	40%	58
usato con la paletta;	40%	59
leggero;	40%	60
elettrica;	40%	61
impermeabile;	70%	62
ripara dalla pioggia;	70%	63
ripara dal sole;	70%	64
ha le stecche;	70%	65
allungato;	40%	66
ha il manico ricurvo;	40%	67
ha la struttura rattiera;	40%	68
usato per sedersi;	70%	69
morbido;	70%	70
comodo;	70%	71
usato per riposare;	70%	72
usato per riposare (poltrona)	40 %	72
ha i cuscini;	70%	73
ha più posti;	70%	74
si trasforma in letto;	40%	75
rivestito;	40%	76
imbottito;	40%	77
usato per distendersi;	40%	78
si trova in salotto;	70%	79

di pelle;	70%	80
di vari colori;	40%	81
ha lo schienale;	40%	82
usato per guardare la tv;	40%	83
ha i piedi;	40%	84
ha i braccioli;	70%	85
contiene libri;	70%	86
ha gli scaffali;	70%	87
grande;	40%	88
contiene soprammobili;	40%	89
si trova in biblioteca;	40%	90
si trova in ufficio;	40%	91
alto;	40%	92
ha i cassetti;	70%	93
ha le gambe;	70%	94
ha quattro gambe;	70%	95
usato per studiare;	70%	96
si trova in camera da letto;	70%	97
usato per scrivere;	40%	98
si trova nello studio;	40%	99
ha un piano di appoggio;	40%	100
simile a un tavolo;	40%	101
liscio;	40%	102

Tab.5.1: Nella prima colonna sono elencate le proprietà del modello, nella seconda sono elencate le percentuali di occorrenza di ogni proprietà, nella terza colonna, invece, sono elencate le posizioni relative a ciascun unità semantica che codifica per una proprietà.

Concetto/ parola	Proprietà	Posizione
Tazzina	2,3,4,5,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19	1
Forchetta	2,3,4,5,8,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30	2
Cucchiaino	2,3,4,5,8,21,24,25,27,31,32,33,34	3
Pentola	2,3,4,5,26,35,36,37,38,39,40,41,42,43	4
Martello	2,3,8,34,44,45,46,47,48,49,50,51	5
Scopa	2,3,8,34,46,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61	6
Ombrello	2,3,8,26,34,60,62,63,64,65,66,67,68	7
Divano	2,3,6,7,15,69,79,71,72,73,74,75,76,77,78	8
Poltrona	2,3,6,7,69,70,71,72,73,79,80,81,82,83,84,85	9
Scrivania	2,3,6,7,25,27,40,43,86,87,88,89,90,91,92	10
Libreria	2,3,6,7,25,27,34,93,94,95,96,97,98,99,100,101,102	11
Utensili da cucina	2,3,4,5	12
Arredo	2,3,6,7	13
Oggetti	2,3	14

Tab.5.2: Nella prima colonna sono riportati i nomi dei concetti e quindi la parola associata ad ogni unità lessicale. Nella seconda colonna ci sono tutte le proprietà associate ad ogni concetto, riportate sottoforma di posizione all'interno della rete semantica. Nella terza colonna sono riportate le posizioni corrispondenti a ciascuna parola nella rete lessicale.

5.1.1 Parametri.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i parametri che useremo nella fase di addestramento sia della parte semantica che lessicale.

Significato	Simbolo	Valore
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide	p^S	100
Posizione sigmoide	ϕ^S	0.55
Soglia post-sinaptica SS	ϑ_{post}^{SS}	0.55÷0.95
Soglia pre-sinaptica SS	ϑ_{pre}^{SS}	0.01
Rateo apprendimento SS	γ_0	0.02
Massima forza sinaptica SS	W_{max}	0.8

Tab.5.3. Valori dei parametri per l'apprendimento semantico.

Significato	Simbolo	Valore
Costante di tempo	τ	3 ms
Pendenza sigmoide punto centrale	p^L	50
Posizione sigmoide	ϕ^L	0.75
Soglia post-sinaptica SL	ϑ_{post}^{SL}	0.55
Soglia pre-sinaptica SL	ϑ_{pre}^{SL}	0.01
Rateo apprendimento SL	γ^{SL}	0.01
Massima forza sinaptica SL	W_{max}^{SL}	0.8
Soglia post-sinaptica LS	ϑ_{post}^{LS}	0.05
Soglia pre-sinaptica LS	ϑ_{pre}^{LS}	0.55
Rateo apprendimento LS	γ^{LS}	0.01
Somma massima delle sinapsi LS	Γ_{max}	1

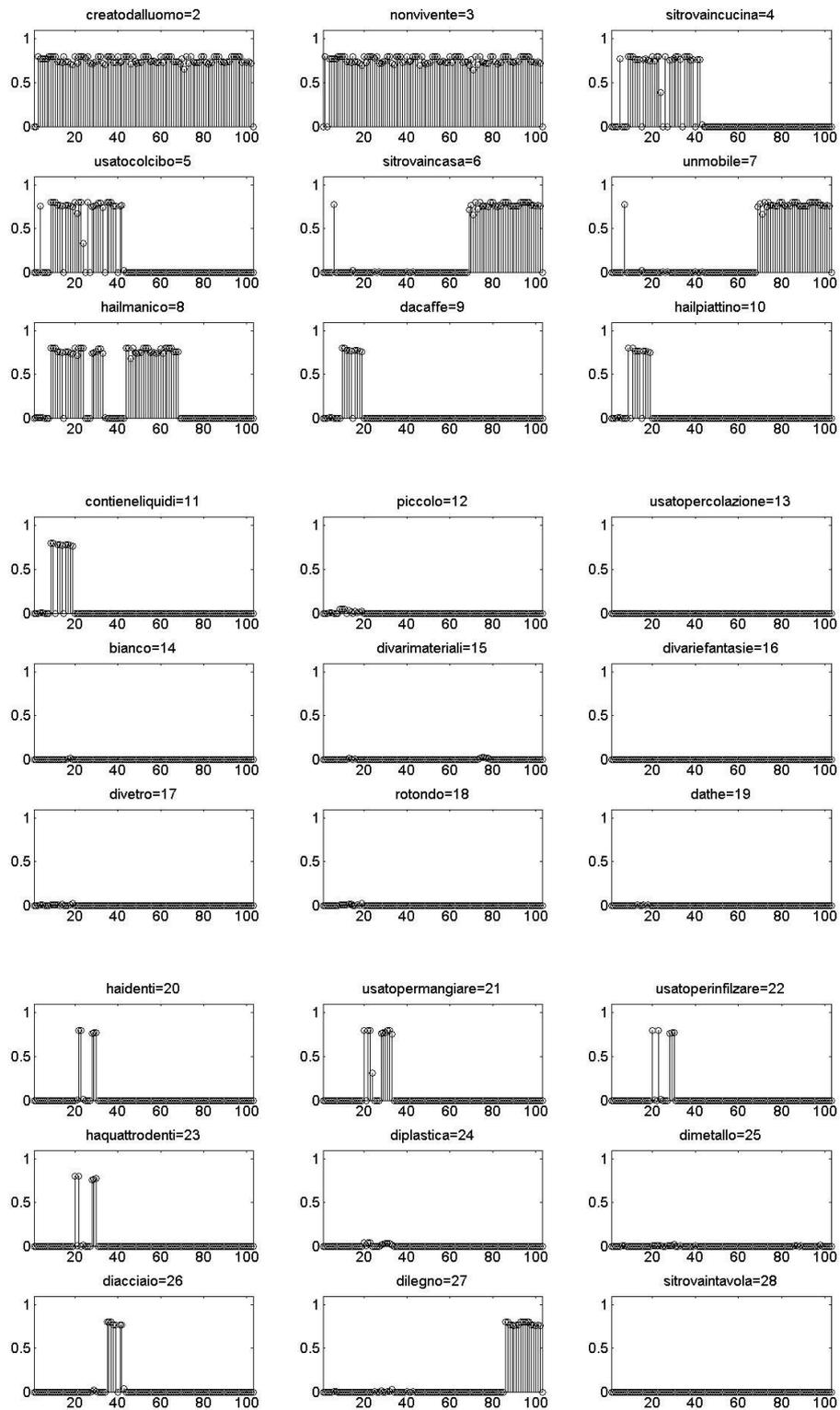
Tab5.4.. Valori dei parametri per l'apprendimento lessicale.

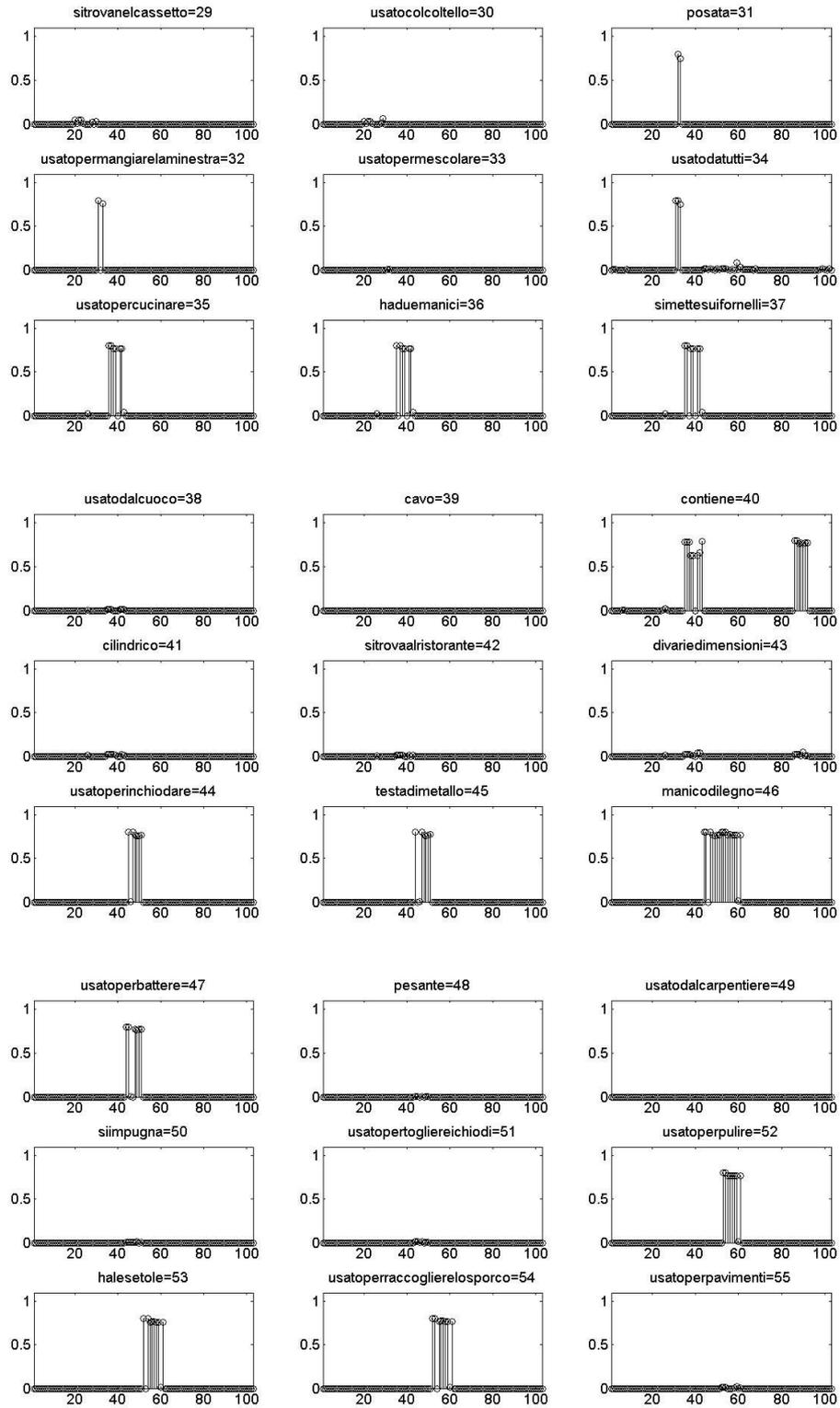
5.2 Risultati.

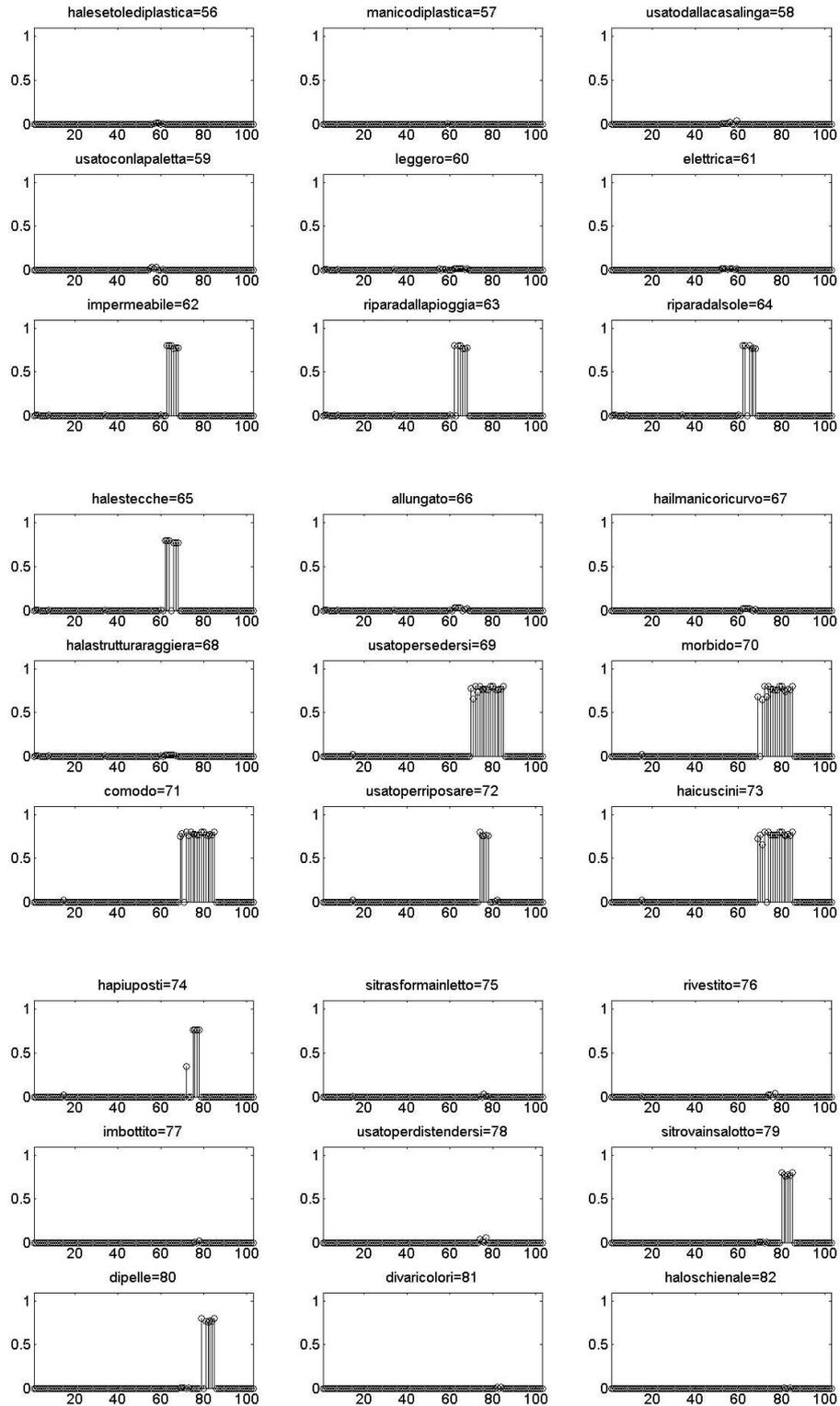
5.2.1 Addestramento semantico (fase 1).

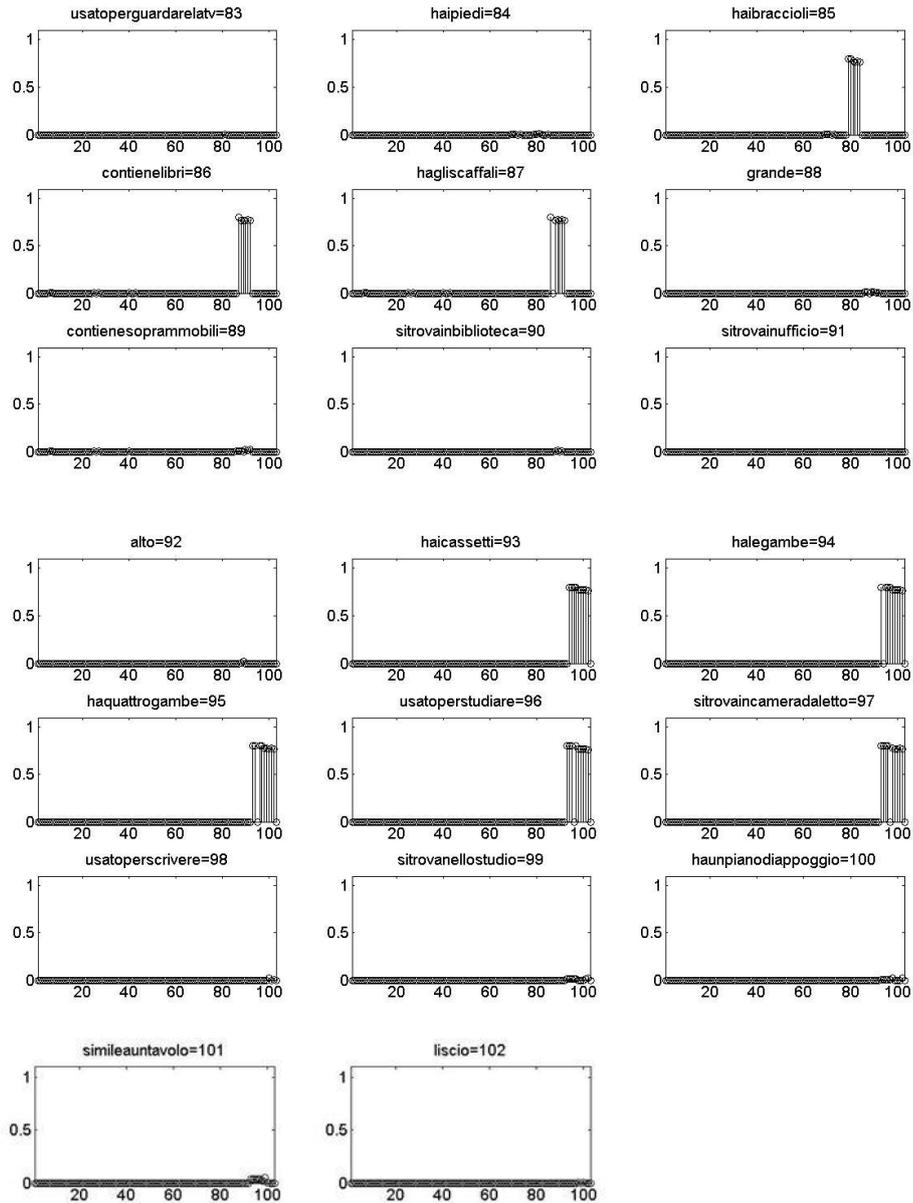
L'addestramento consiste in 1000 epoche dove, in ogni epoca, le proprietà vengono presentate in modo random una solo volta per epoca. I risultati ottenuti dopo questa fase di addestramento sono riportati nei grafici sottostanti. I grafici sottostanti hanno in ascissa le 102 proprietà

del modello (per le posizioni di ogni proprietà rifarsi alla *Tab.5.1*), e in ordinata la forza sinaptica.





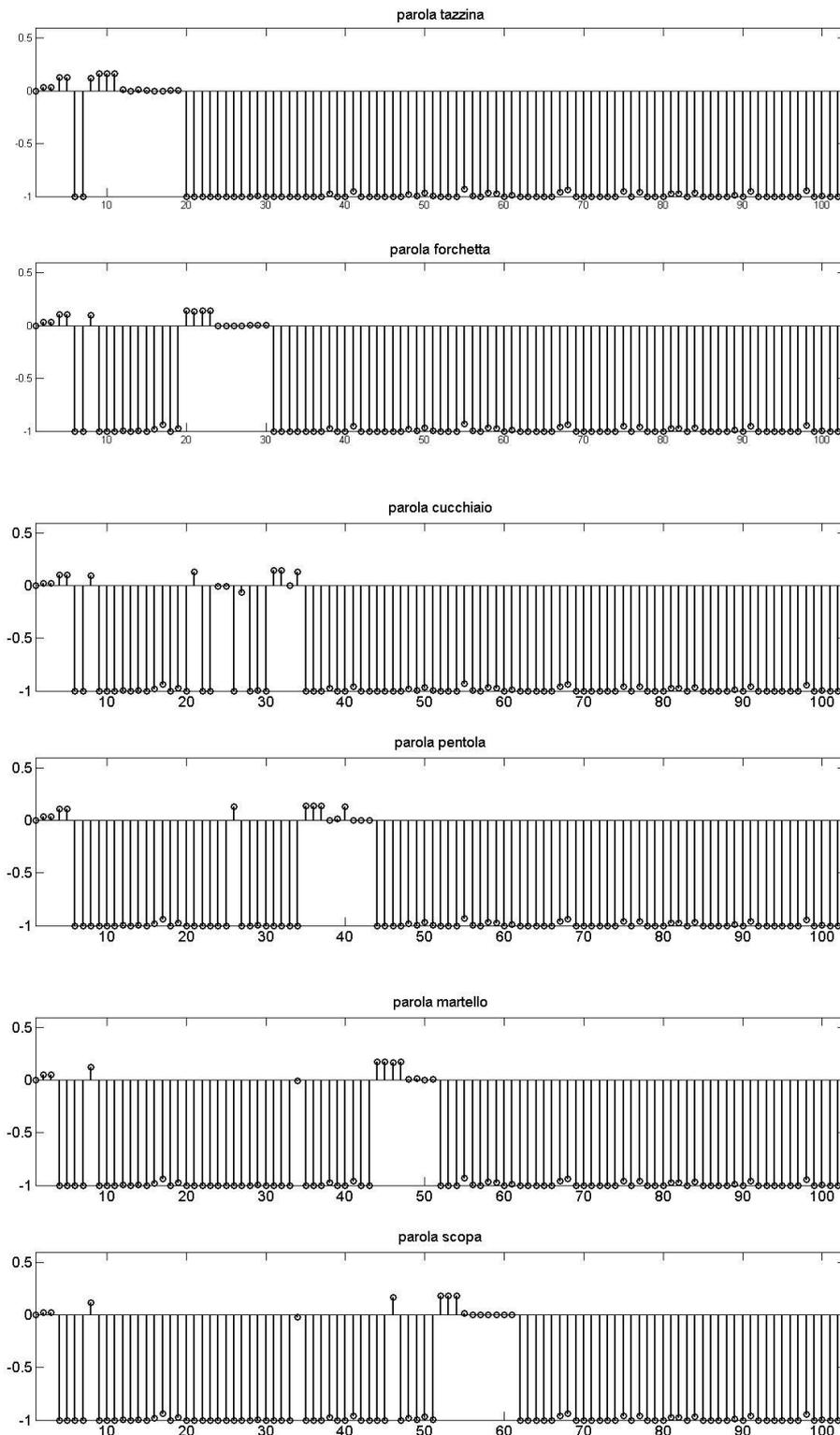


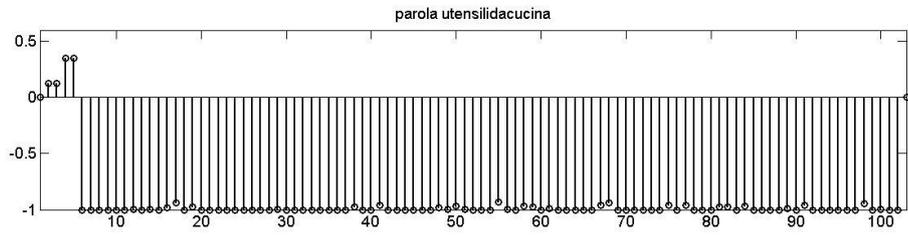
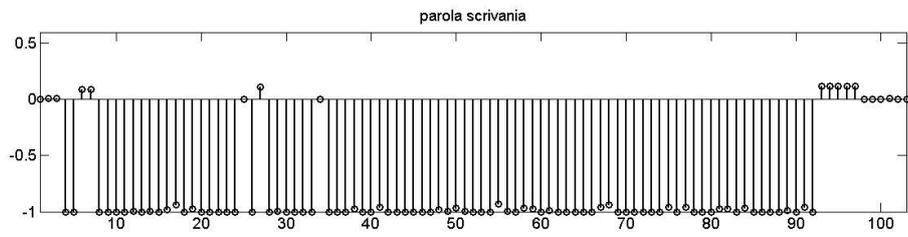
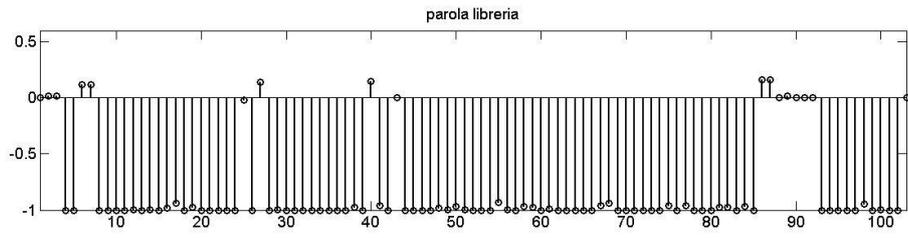
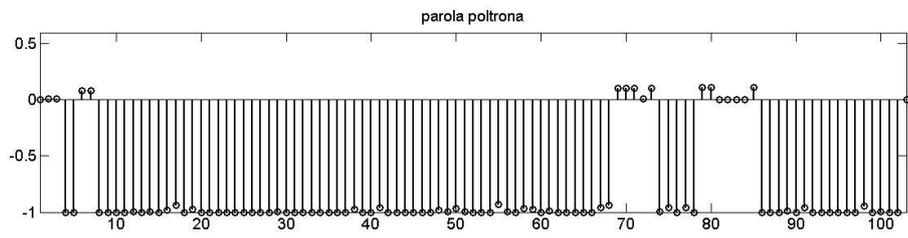
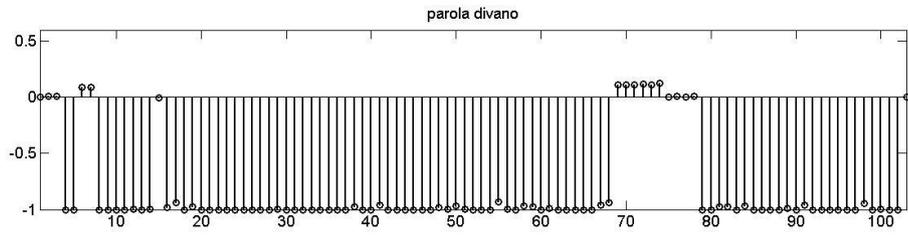
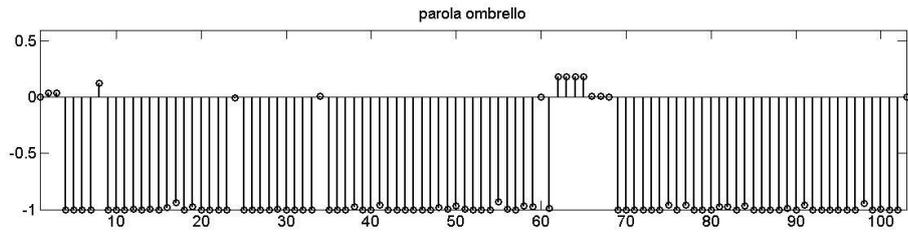


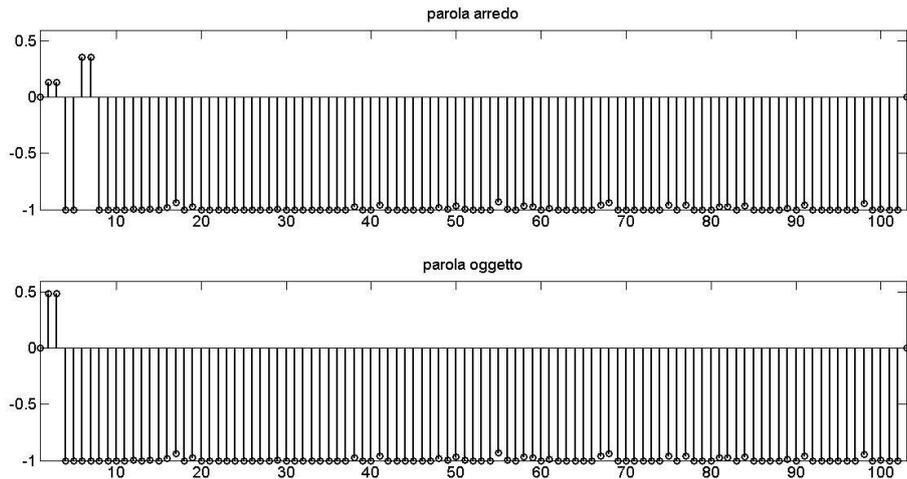
Le proprietà salienti ricevono sinapsi dalle altre proprietà del concetto, tranne che da se stesse. Le proprietà marginali non ricevono sinapsi da nessuna proprietà. Le sinapsi con maggiore forza sono quelle che arrivano dalle proprietà salienti.

5.2.2 Addestramento lessicale (fase 2).

In seguito all'addestramento lessicale, vediamo come si comporta il modello.

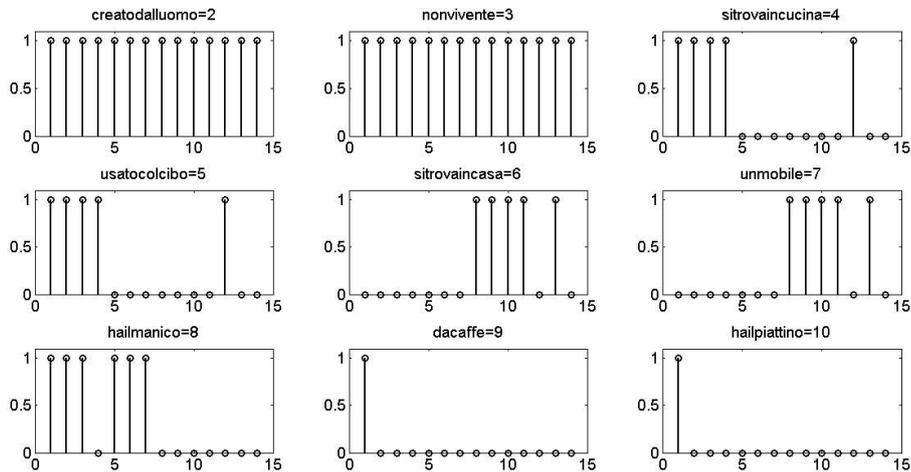


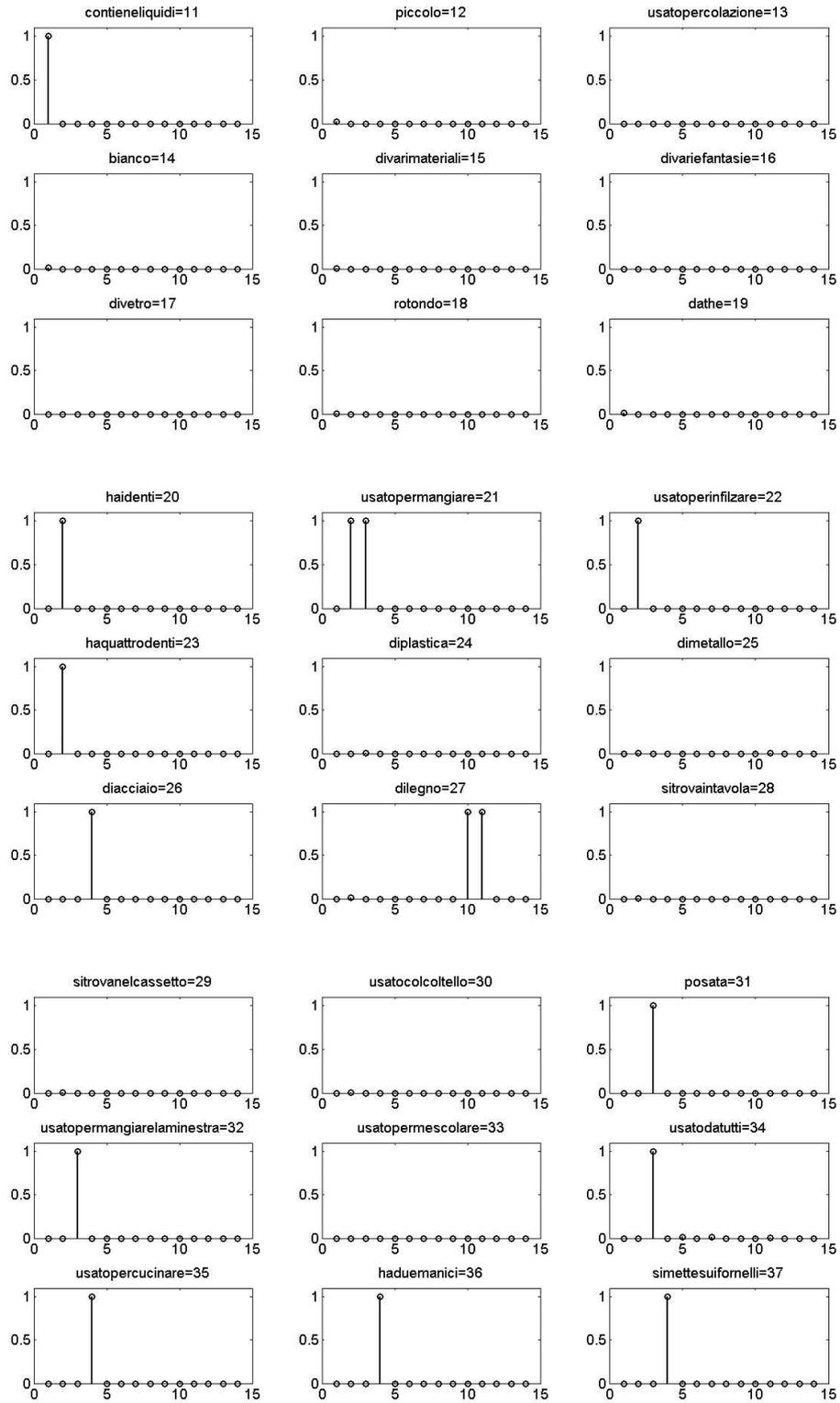


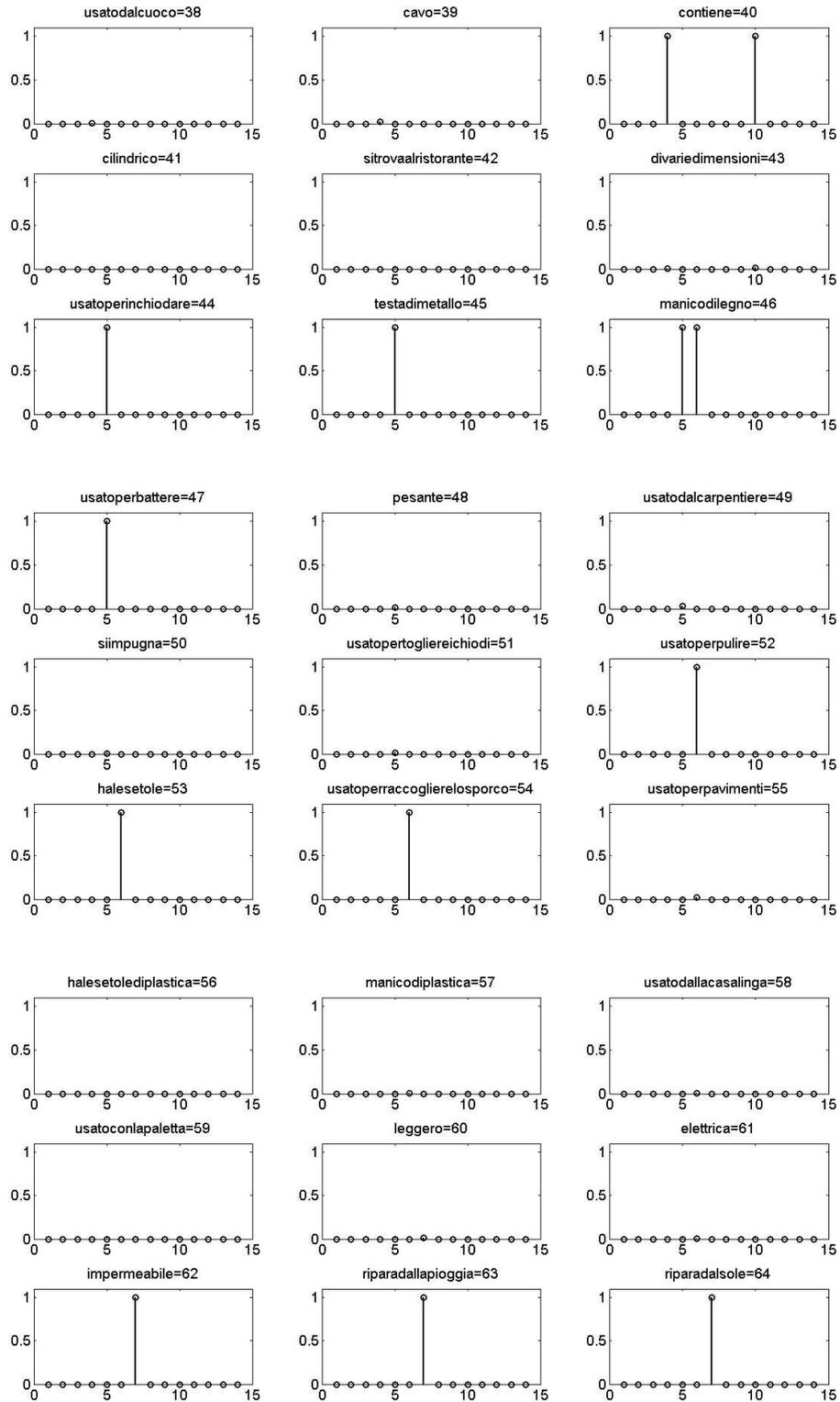


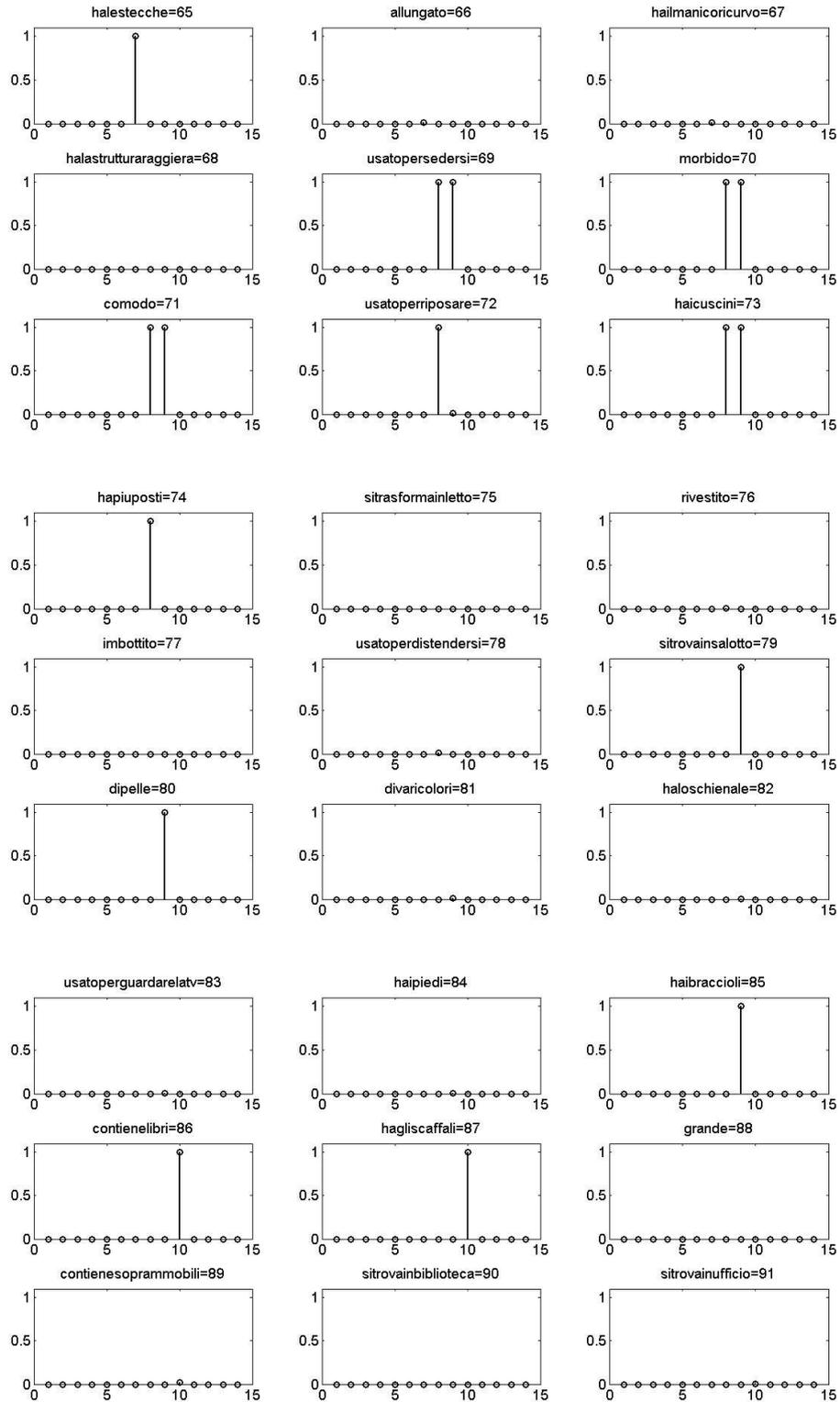
Il modello funziona bene; le parole ricevono le sinapsi dalle proprietà che lo caratterizzano, con maggiore forza per le sinapsi delle proprietà salienti.

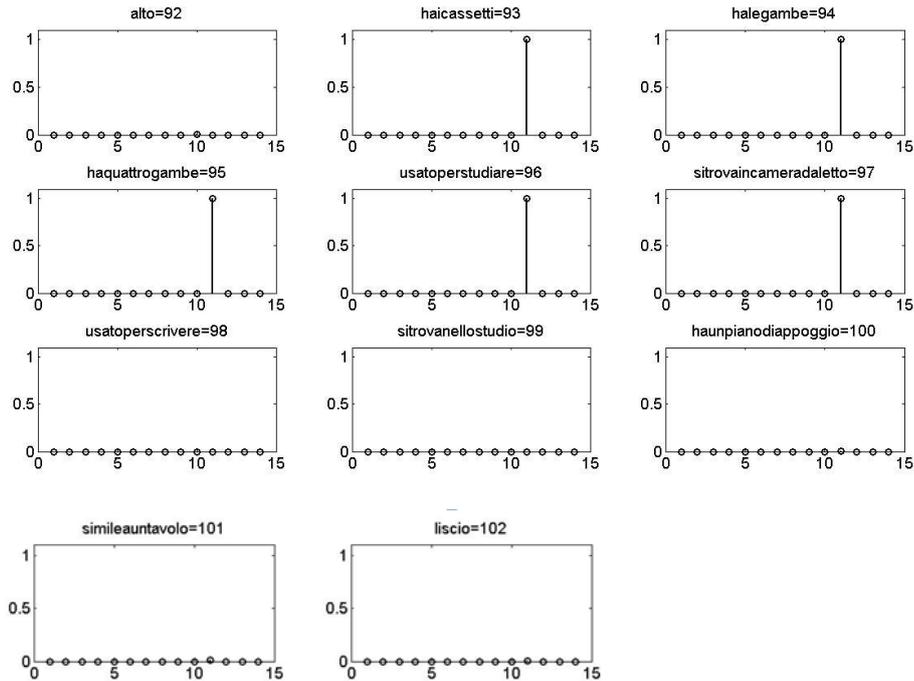
I grafici seguenti, mostrano la forza delle sinapsi che entrano nelle singole proprietà dalle unità lessicali.











5.2.3 Simulazioni di compiti di denominazione dei concetti.

Vediamo come si comporta il modello dando in ingresso una proprietà saliente.

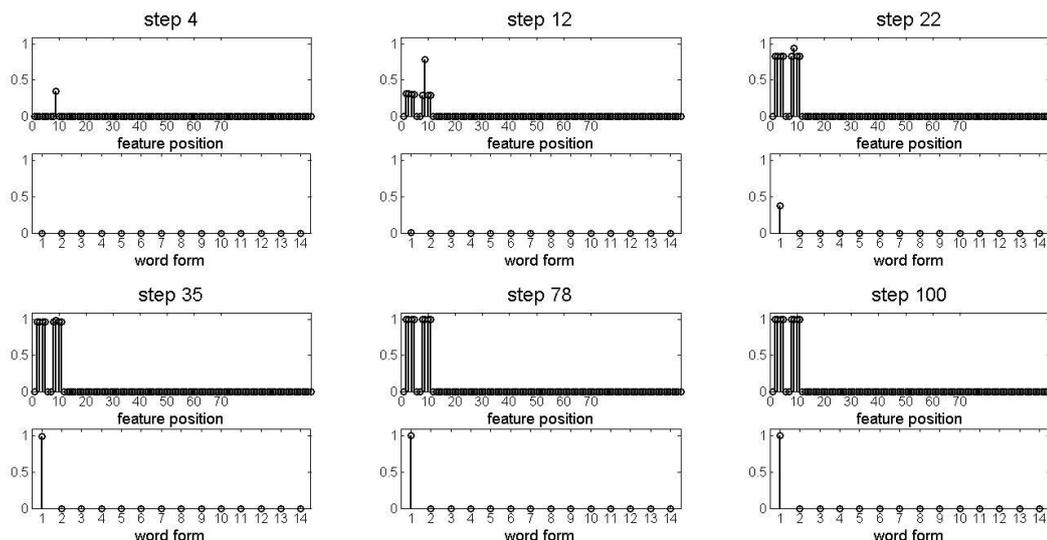


Fig.5.2. Diamo in ingresso la proprietà “da caffè” (9), essa richiama le proprietà “creato dall’uomo” (2), “non vivente” (3), “si trova in cucina” (4), “usato con il cibo” (5), “ha il manico” (8), “ha il piattino” (10), “contiene liquidi” (11) e la parola associata “tazzina” (1).

Dando in ingresso una proprietà marginale, il modello richiama tutte le proprietà salienti e la parola associata.

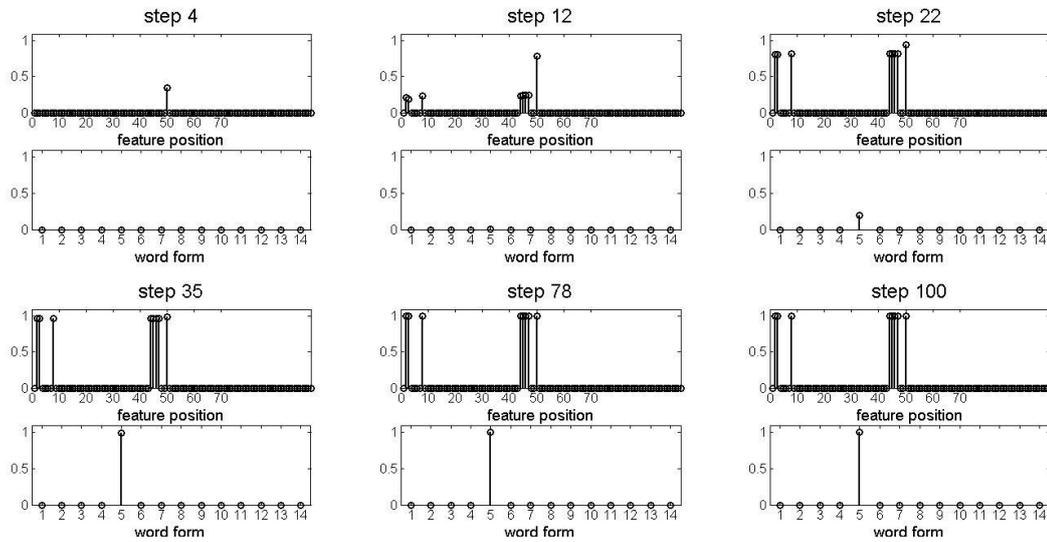


Fig.5.3. Diamo in ingresso la proprietà marginale “si impugna” (50), essa richiama le proprietà: “creato dall’uomo” (2), “non vivente” (3), “ha il manico” (8), “usato per inchiodare” (44), “testa di metallo” (45), “manico di legno”(46), “usato per battere” (47) più la parola associata “martello” (5).

Diamo in ingresso una proprietà parzialmente condivisa come “si trova in casa”, essa richiama la parola “arredo” e le proprietà associate alla parola.

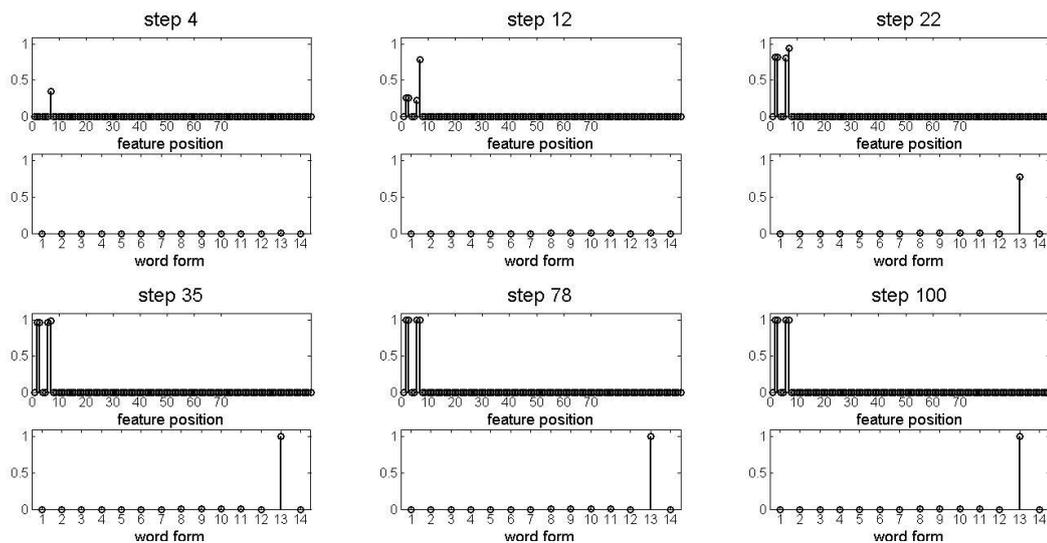


Fig.5.4. diamo in ingresso la proprietà “si trova in casa” (7), essa richiama le proprietà “creato dall’uomo”(2), “non vivente” (3), “è un mobile” (6) più la parola associata “arredo” (13).

Se diamo in ingresso una proprietà totalmente condivisa “non vivente” essa richiama la parola “oggetto”.

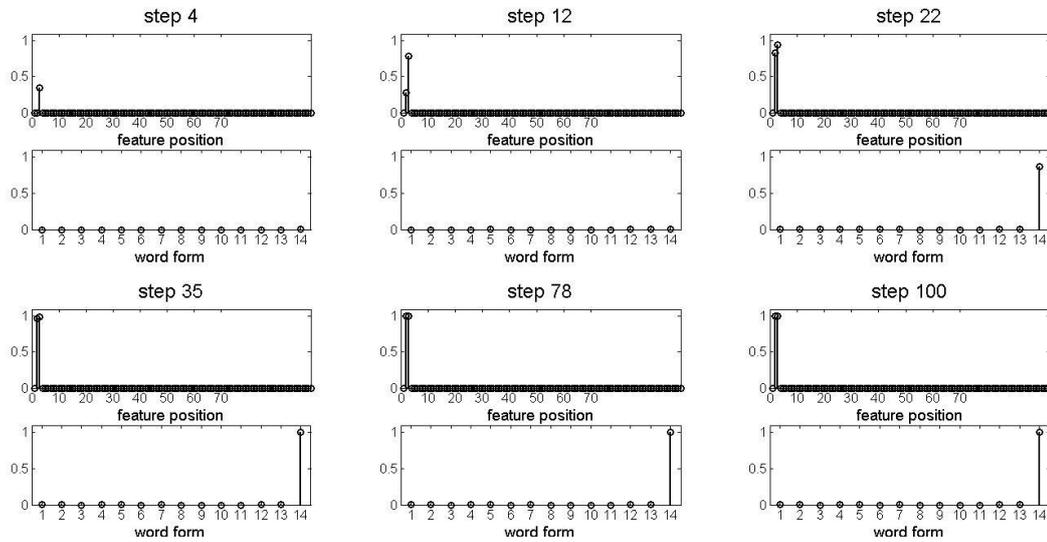


Fig.5.6. Diamo in ingresso la proprietà “non vivente” (3), essa richiama la proprietà “creato dall'uomo” (2) più la parola associata “oggetti” (14).

Anche dando in ingresso la parola, il modello richiama tutte le proprietà salienti associate al concetto.

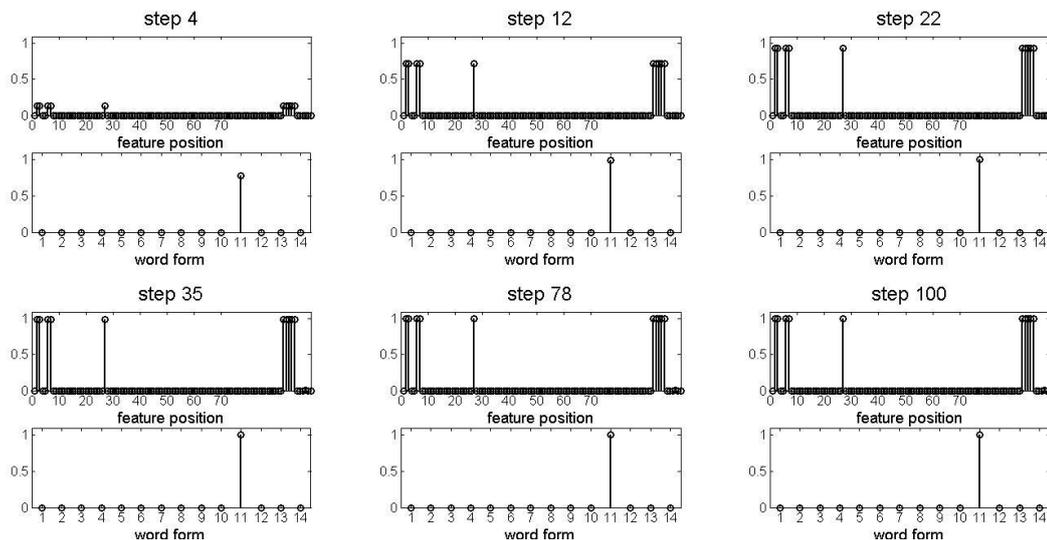


Fig.5.7. Diamo in ingresso la parola “scrivania” (11), essa richiama le proprietà salienti associate: “creato dall'uomo” (2), “non vivente” (3), “è un mobile” (6), “si trova in casa” (7), “di legno” (27), “ha i cassetti” (93), “ha le gambe” (94), “ha 4 gambe”(95), “usato per studiare” (96), “si trova in camera da letto” (97).

5.3 Limiti del modello.

Talune volte quando due oggetti condividono una proprietà, che per uno è saliente mentre per l'altro è marginale, dopo la fase di addestramento la proprietà diventa saliente per entrambi gli oggetti. La proprietà “contiene” saliente per “libreria” e marginale per “pentola”, dopo la fase di addestramento diventa saliente anche per “pentola”.

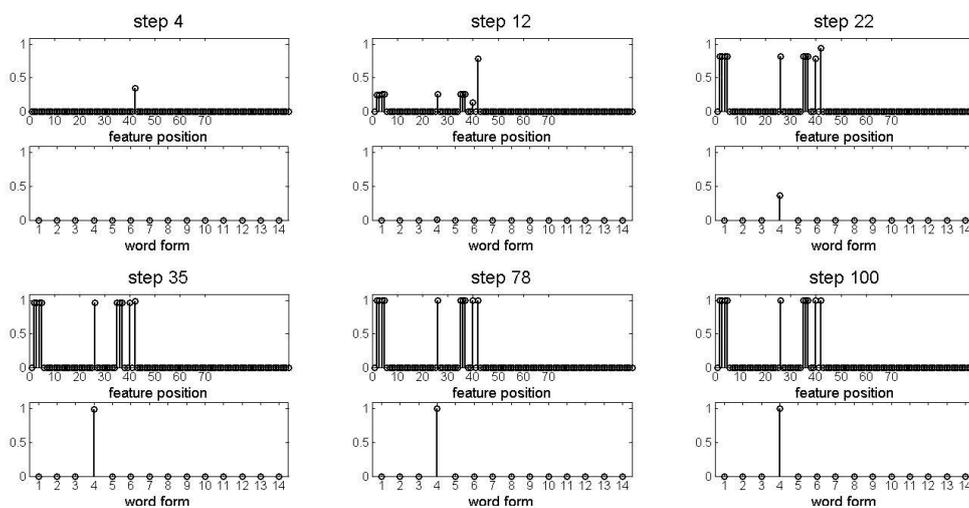


Fig.5.8: Abbiamo dato in ingresso la proprietà marginale “si trova al ristorante” essa richiama le proprietà saliente per “pentola” tra cui “contiene” (40).

Stesso discorso con la proprietà “ha il manico di legno”, saliente per “martello” e marginale per “scopa”, dopo la fase di addestramento diventa saliente anche per “scopa”.

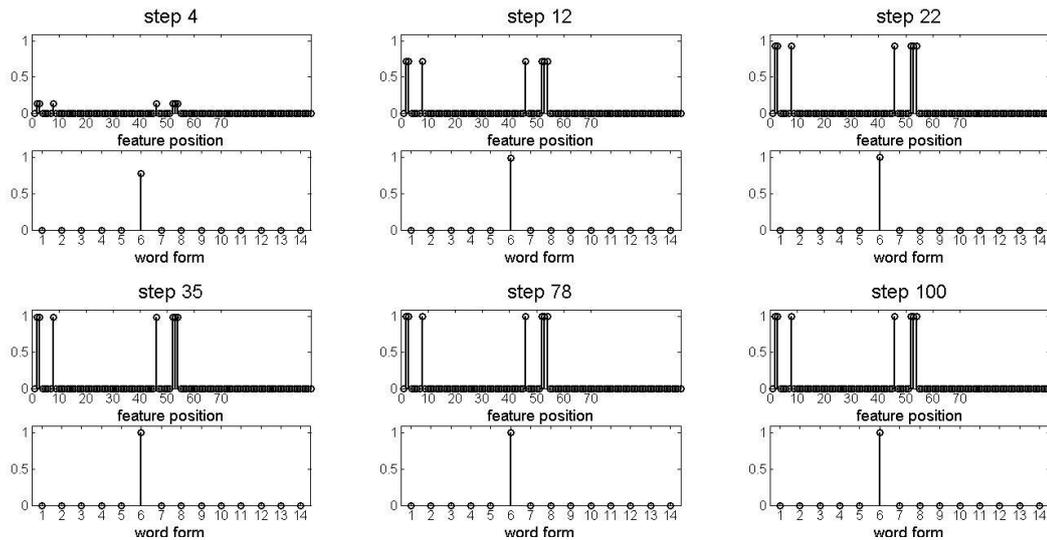


Fig.5.9: Diamo ingresso la parola “scopa”, essa richiama le proprietà salienti ad essa associata più la proprietà “manico di legno”(46).

Un altro limite di questo modello è legato alla proprietà “usato per riposare”, condivisa tra “divano” e “poltrona”: richiama tutte le proprietà condivise tra i due oggetti e fa salire la parola “divano” che evoca anche la proprietà “ha più posti” che è saliente distintiva per divano.

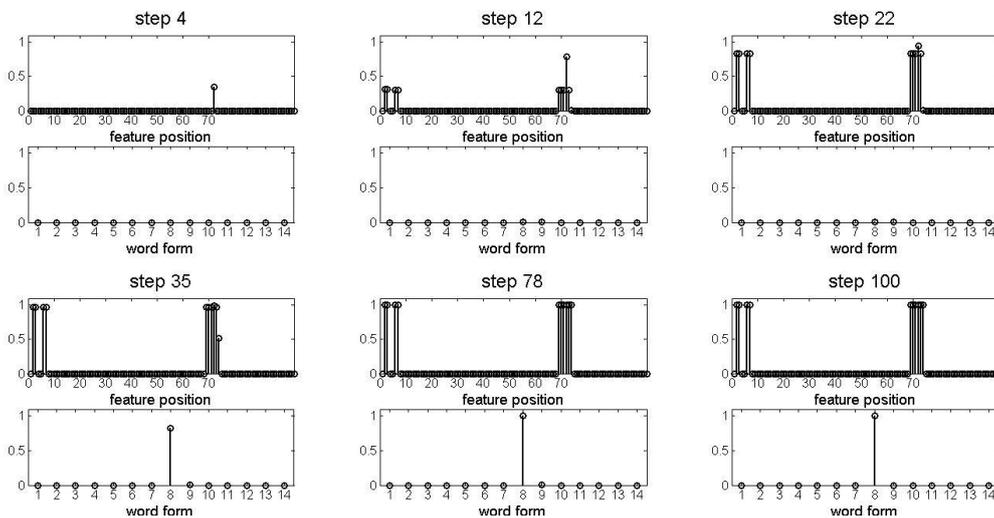


Fig.5.10: Diamo in ingresso la proprietà “usato per riposare”, essa richiama le proprietà condivise tra “poltrona” e “divano”: “creato dall’uomo” (2), “non vivente” (3), “è un mobile”(5) “si trova in casa” (6), “usato per sedersi” (69), “morbido” (70), “comodo” (71), “ha i cuscini” (73); sale anche la parola “divano” (8) e la proprietà distintiva “ha più posti”(74).

Questo limite può essere spiegato in quanto dando in ingresso la proprietà “usato per riposare” (saliente per divano e marginale per poltrona),

vengono richiamate 5 delle 6 proprietà salienti di divano. Il modello quindi richiama la parola “divano” e di conseguenza sale anche la proprietà “ha più posti”.

Capitolo 6

6 MODELLO DANNEGGIATO.

6.1 Danneggiamento sinapsi .

I modelli descritti nei capitoli 4 e 5, sono stati danneggiati a livello delle sinapsi. Il danneggiamento consiste nel danneggiare, in modo random le sinapsi riducendone il valore. Dopo la fase di addestramento semantico e lessicale abbiamo danneggiato il 60 % delle sinapsi del modello con un danno pari al 60%.

6.1.1 Modello animale.

Dalle simulazioni fatte si evince che se diamo in ingresso una proprietà distintiva saliente di un concetto (es. “scodinzola”), il modello, se non riesce a richiamare tutte le proprietà salienti del “cane” (“abbaia”, “domestico”, “da compagnia”), richiama le proprietà associate alla categoria “mammifero” (“mangia”, “dorme”, “ha il pelo”, “ha 4 zampe”) più la proprietà “domestico” (condivisa con “gatto”).

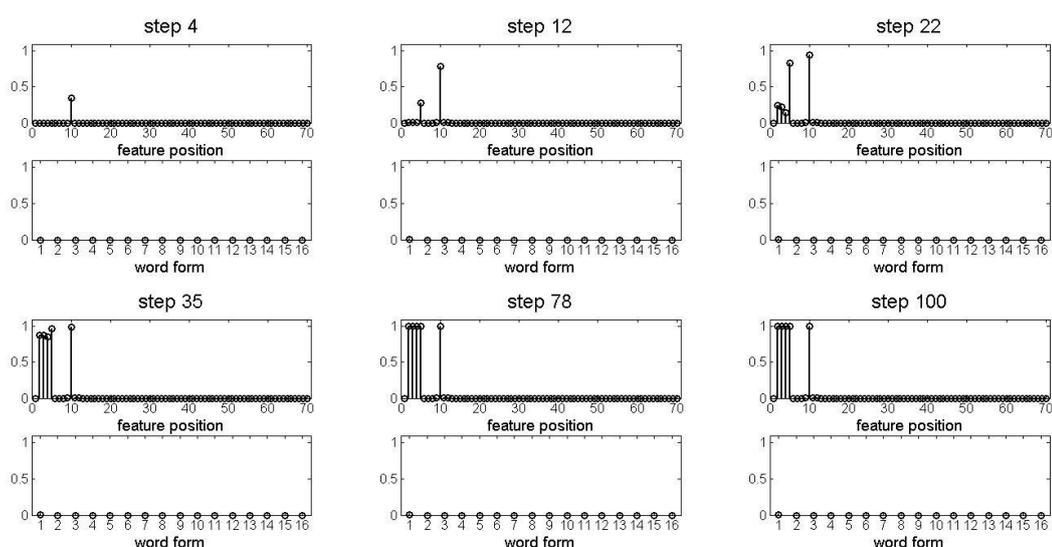


Fig.6.1. È rappresentato il modello danneggiato, dove dando in ingresso la proprietà “scodinzola”(10), esso richiama soltanto le proprietà associate alla categoria “mammifero” più la proprietà condivisa “domestico” (10).

Dando in ingresso una proprietà distintiva marginale, il modello, nella maggior parte delle simulazioni, richiama le proprietà salienti associate al concetto.

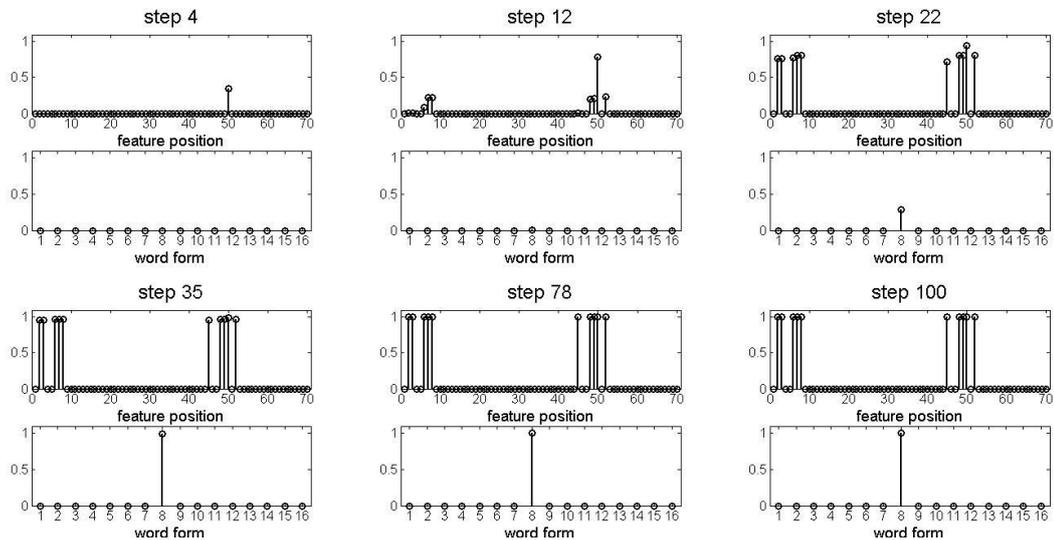


Fig.6.2. È rappresentato il modello danneggiato, dove dando in ingresso la proprietà marginale “fa i pulcini”(50), riesce a richiamare le proprietà associate al concetto “gallina”(8).

Se, invece, diamo in ingresso al modello una proprietà totalmente condivisa come “mangia” il modello, nella maggior parte delle simulazioni, non riesce a richiamare la proprietà “dorme” che è propria della categoria “animale”.

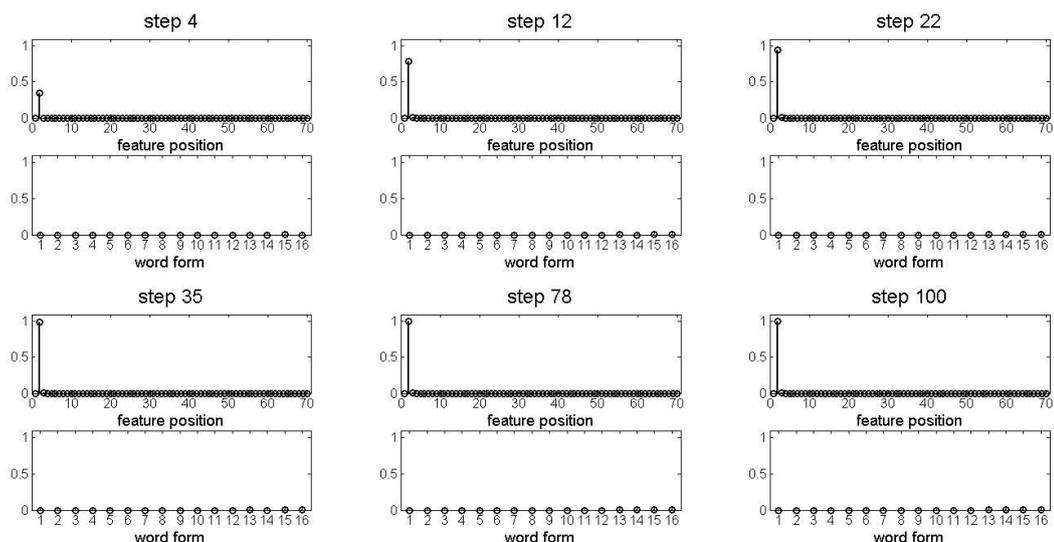


Fig.6.3: È rappresentato il modello danneggiato, dove dando in ingresso “mangia”, esso sale solo e non riesce a richiamare la proprietà “dorme” associata alla categoria “animale”.

Diamo in ingresso una proprietà parzialmente condivisa come “svolazza” il modello richiama, nella maggior parte delle simulazioni, le proprietà associate alla categoria “uccello”, altrimenti richiama le proprietà associate alla categoria “animale”.

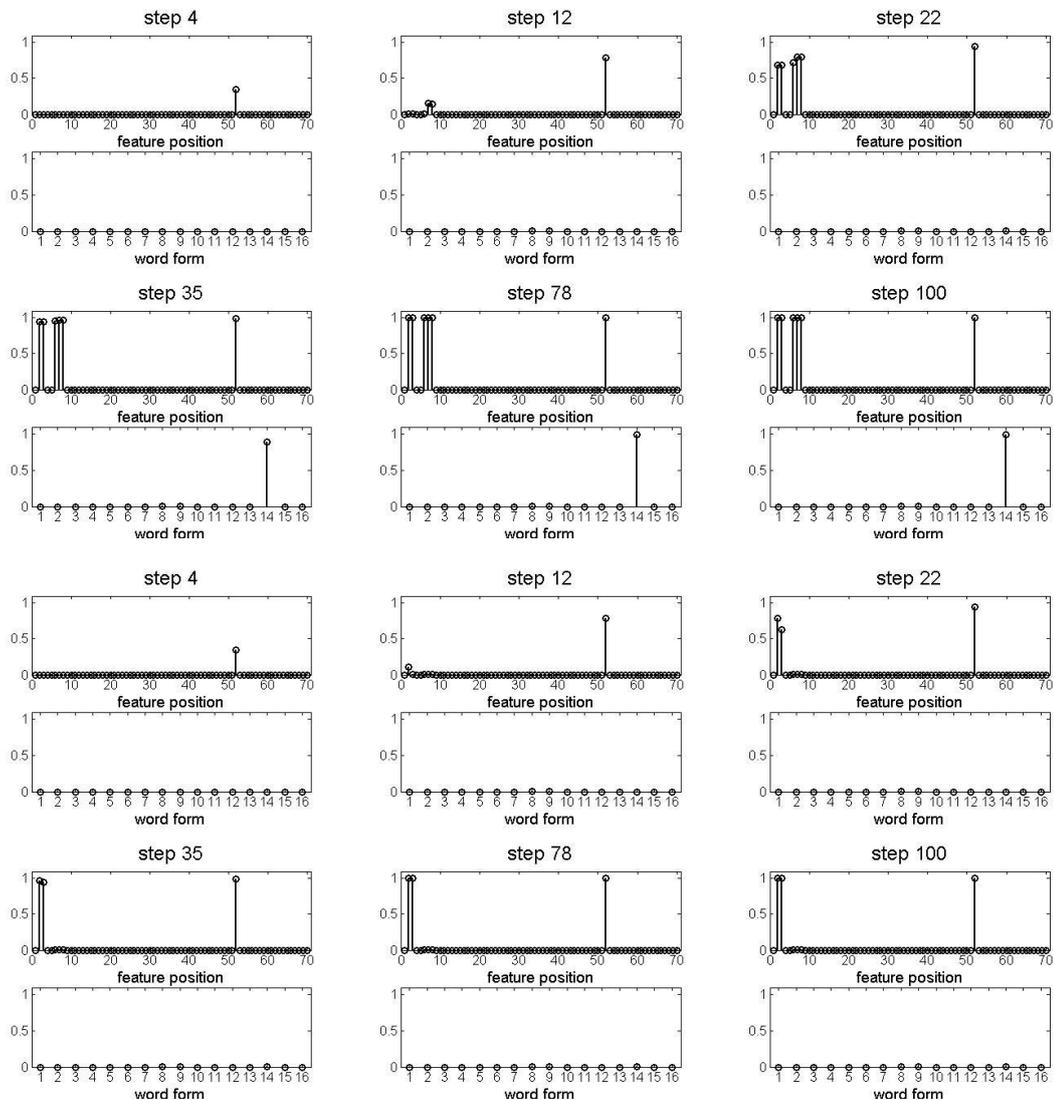


Fig.6.4: Nella figura superiore è rappresentato il modello danneggiato, dove dando in ingresso la proprietà “svolazza”(52), il modello riesce a richiamare le proprietà associate alla categoria “uccello”. Nella figura inferiore è rappresentato il modello danneggiato che richiama le proprietà associate alla categoria “animale”.

Non avendo danneggiato le sinapsi che dall’area lessicale vanno a quella semantica, dando in ingresso la forma verbale come ad esempio “cane”, il modello danneggiato riesce sempre a richiamare le proprietà ad esso associato.

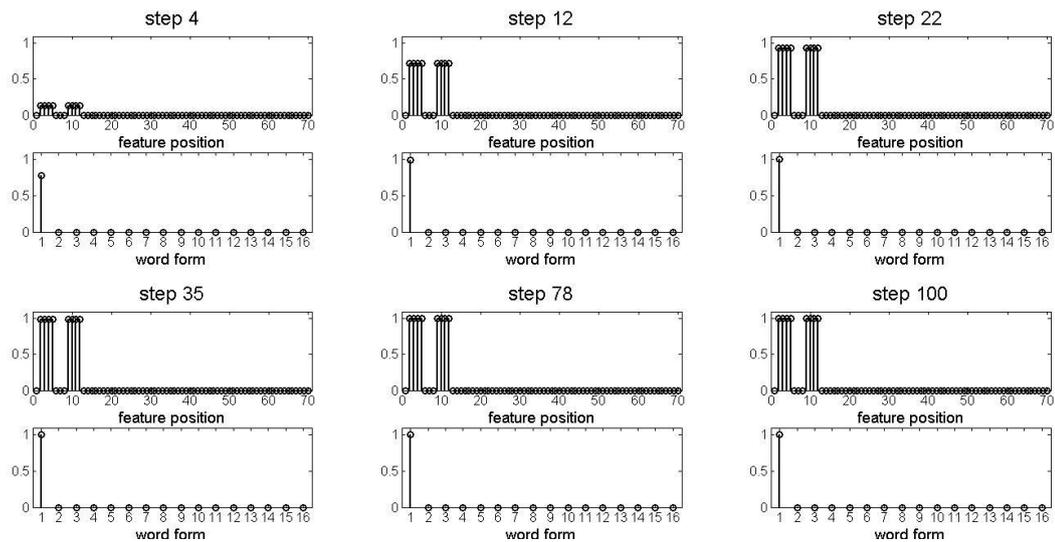


Fig.6.5. È rappresentato il modello danneggiato che ricevuto in ingresso la parola “cane”(1) richiama sempre le proprietà ad esso associato.

Possiamo riassumere i risultati ottenuti da queste simulazioni nella Tab.6.1, dove vengono riportate le percentuali con cui le varie proprietà distintive (salienti o marginali) e condivise richiamano i concetti, le categorie o nessuna di queste.

DANNEGGIAMENTO DEL 60% DELLE SINAPSI CON UNA RIDUZIONE DELLA SINAPSI DEL 60%				
Proprietà distintive	Concetto	Mammifero/ Erbivoro	Animale	Nessuna
Cane	52%	44%	4%	
Gatto	81%	15%	2%	2%
Pecora	85%	12.5%	2.5%	
Mucca	66.7%	33.3%		
Zebra	46.7%	53.3%		
Giraffa	15%	80%	5%	
	Concetto	Uccello	Animale	Nessuna
Oca	54%	38%	6%	2%
Gallina	65%	32,5%	2,5%	
Gallo	60%	38%		2%
Pappagallo	75%	22,5%	2,5%	
Gufo	65%	30%		5%
Piccione	68%	24%	4%	4%
		Mammifero	Animale	Nessuna
Proprietà comuni mammifero		53.3%	26.7%	20%
		Uccello	Animale	Nessuna
Proprietà comuni uccello		76.7%	18.3%	5%

		Erbivoro	Animale	Nessuna
Proprietà comuni erbivoro		75,72%	17,14%	7,14%
			Animale	Nessuna
Proprietà comuni animale			40%	60%

6.1.2 Modello oggetti.

Possiamo vedere come si comporta il modello oggetti con un danneggiamento del 60 % delle sinapsi e una riduzione delle sinapsi del 60%. Se diamo al modello una proprietà saliente distintiva di un concetto (es. “usato per pulire”), il modello, se non riesce a richiamare tutte le proprietà distintive di “scopa” (“ha il manico”, “ha le setole”, “usato per togliere lo sporco”, “ha il manico di legno”), richiama le proprietà associate alla categoria “oggetto” (“non vivente”, e “creato dall’uomo”) più le proprietà condivise “ha il manico” e “ha il manico di legno”.

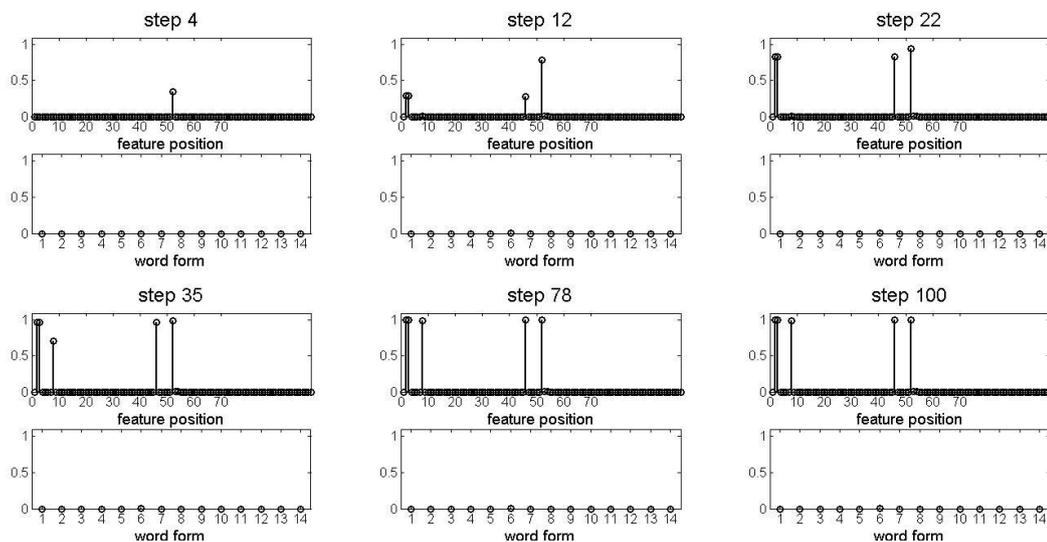


Fig.6.6: È rappresentato il modello danneggiato che dando in ingresso la proprietà distintiva “usato per pulire”(52) richiama le proprietà associate alla categoria “oggetto” (“non vivente”(3), e “creato dall’uomo”(2)) più le proprietà condivise “ha il manico”(8) e “ha il manico di legno”(46).

Dando in ingresso una proprietà distintiva marginale il modello è in grado, nella maggior parte delle simulazioni, di richiamare le proprietà salienti associate al concetto.

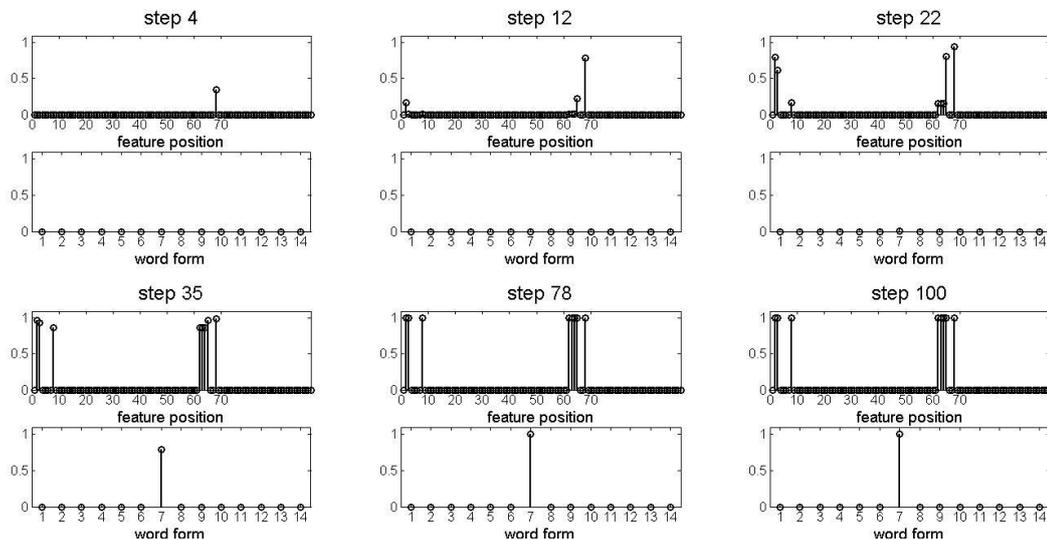


Fig.6.7: È rappresentato il modello danneggiato, dove dando in ingresso la proprietà “ha la struttura raggiera”(68)distintiva marginale per “ombrello”(7), riesce a richiamare le proprietà associate al concetto.

Se diamo in ingresso al modello una proprietà totalmente condivisa come “creato dall’uomo” il modello, nella maggior parte delle simulazioni, non riesce a richiamare la proprietà “non vivente” che è propria della categoria “oggetto”.

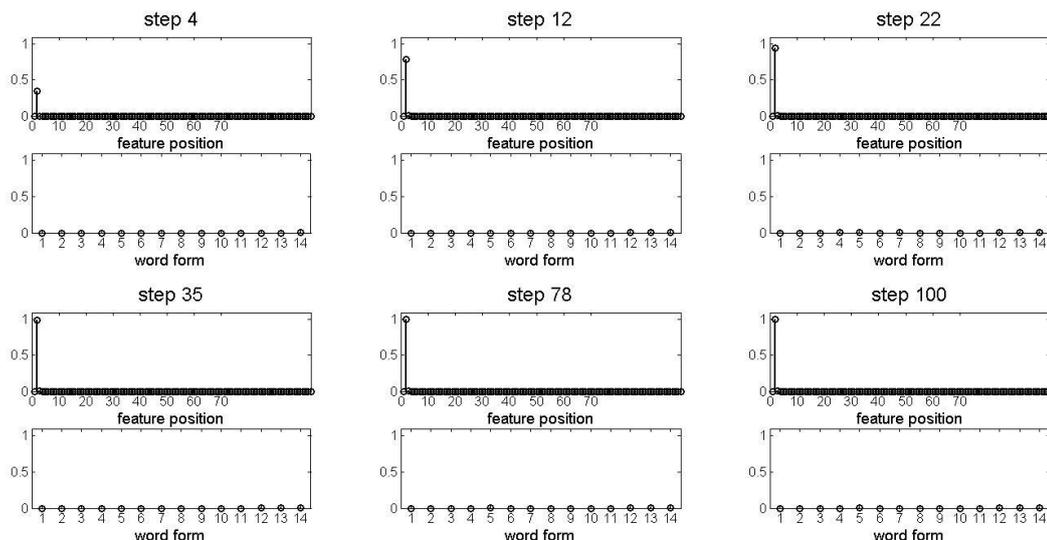


Fig.6.8: È rappresentato il modello danneggiato, dove dando in ingresso “creato dall’uomo”, esso sale solo e non riesce a richiamare la proprietà “non vivente” associata alla categoria “animale”.

Se l'ingresso del modello è una proprietà condivisa come “comodo” (condivisa da “poltrona” e “divano”), il modello richiama le proprietà associate alla categoria “arredo” più le proprietà condivise “morbido”, “usato per sedersi”, “ha i cuscini”.

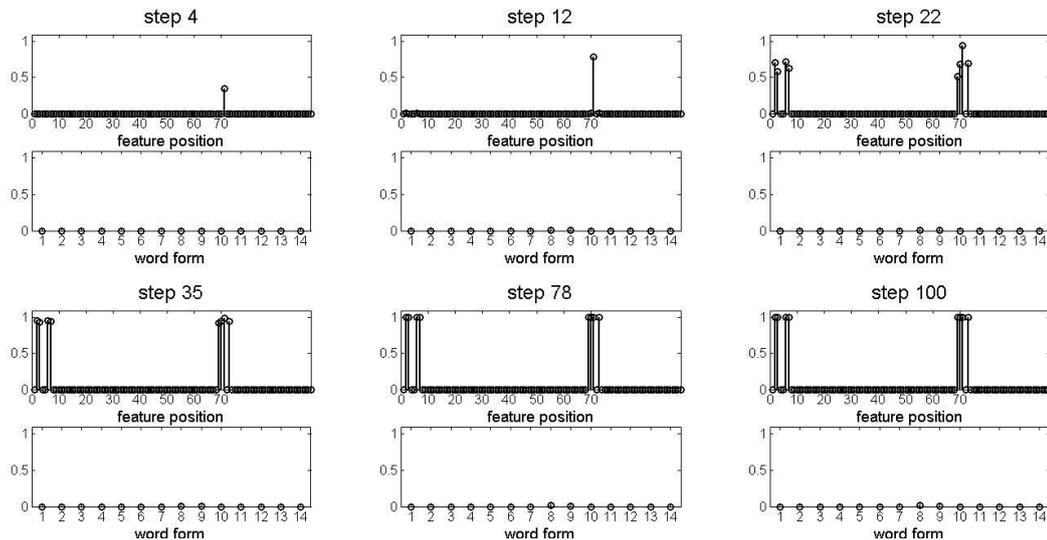


Fig.6.9: È rappresentato il modello danneggiato che in ingresso riceve una proprietà condivisa “comodo”(71), richiama le proprietà associate alla categoria “arredo” più le proprietà condivise “morbido”(70), “usato per sedersi”(69), “ha i cuscini”(72).

Dando in ingresso la parola “tazzina” o qualunque forma verbale, il modello danneggiato riesce sempre a richiamare le proprietà ad esso associato, in quanto non abbiamo danneggiato le sinapsi che dall'area lessicale vanno a quella semantica.

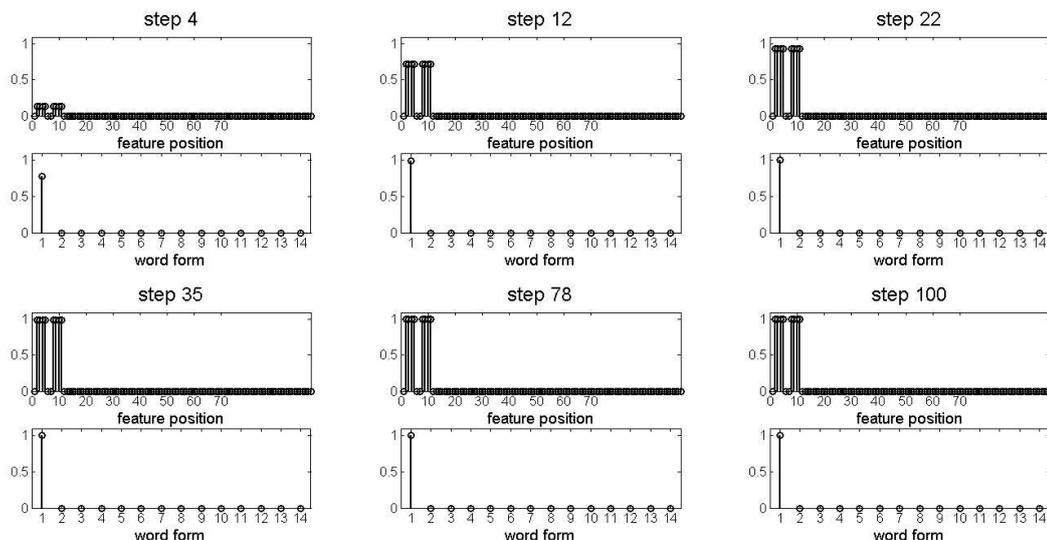


Fig.6.10. È rappresentato il modello danneggiato che ricevuto in ingresso la parola “tazzina”(1) richiama sempre le proprietà ad esso associato.

Possiamo riassumere i risultati delle simulazioni nella *Tab.6.2*, dove riportiamo le percentuali con cui le varie proprietà che possono essere distintive (salienti o marginali) e condivise richiamano i concetti, le categorie o nessuna di queste.

DANNEGGIAMENTO DEL 60% DELLE SINAPSI CON UNA RIDUZIONE DELLA SINAPSI DEL 60%				
Proprietà distintive	Concetto	Utensili da cucina	Oggetti	Nessuna
Tazzina	58%	32%	8%	2%
Forchetta	73.3%	21.7%	5%	
Cucchiaio	43.3%	56.7%		
Pentola	72.9%	25.7%	1.4%	
	Concetto		Oggetti	Nessuna
Martello	65.7%		32.9%	1.4%
Scopa	71.1%		25.6%	3.3%
Ombrello	82.9%		11.4%	5.7%
	Concetto	Arredo	Oggetti	Nessuna
Divano	66%	34%		
Poltrona	61.4%	38.6%		
Libreria	55.7%	42.9%	1.4%	
Scrivania	92%	8%		
		Utensili da cucina	Oggetti	Nessuna
Proprietà comuni utensili da cucina		80%	7.1%	12.9%
		Arredo	Oggetti	Nessuna
Proprietà comuni arredo		35%	35%	30%
			Oggetti	Nessuna
Proprietà comuni oggetti			63.3%	36.7%

6.1.3 Variazione della percentuale di danno sinaptico.

In seguito a queste simulazioni si è pensato di diminuire e aumentare la percentuale di danno delle singole sinapsi. Si è osservato che danneggiando il 60 % delle sinapsi con un danno pari al 30 % il modello funziona come se non avesse subito nessun danno, mentre aumentando la percentuale di danno della singola sinapsi, portandola al 70 % il modello tende a perdere le proprietà distintive dei concetti e richiamare le

proprietà associate alla categoria. Le simulazioni sono riassunte nelle *Tab.6.3* , *Tab.6.4*.

DANNEGGIAMENTO DEL 60% DELLE SINAPSI CON UNA RIDUZIONE DELLA SINAPSI DEL 70%				
Proprietà distintive	Concetto	Mammifero/ Erbivoro	Animale	Nessuna
Cane	60%	26%	6%	8%
Gatto	60%	18.3%	15%	6.7%
Pecora	75%	20%	2.5%	2.5%
Mucca	70%	30%		
Zebra	26.7%	50%	23.3%	
Giraffa	25%	55%	20%	
	Concetto	Uccello	Animale	Nessuna
Oca	38%	48%	8%	6%
Gallina	40%	52.5%		7.5%
Gallo	54%	40%	2%	4%
Pappagallo	47.5%	52.5%		
Gufo	65%	17.5%	12.5%	5%
Piccione	58%	28%	10%	4%
		Mammifero	Animale	Nessuna
Proprietà comuni mammifero		26.7%	23.3%	50%
		Uccello	Animale	Nessuna
Proprietà comuni uccello		58.3%	31.7%	10%
		Erbivoro	Animale	Nessuna
Proprietà comuni erbivoro		71.4%	14.3%	14.3%
			Animale	Nessuna
Proprietà comuni animale			33.3%	66.7%

Tab.6.3: Sono elencate le percentuali con cui una proprietà (distintive, marginale o condivisa) del modello animale richiama un concetto, una categoria, una supercategoria o nessuna di esse.

DANNEGGIAMENTO DEL 60% DELLE SINAPSI CON UNA RIDUZIONE DELLA SINAPSI DEL 70%				
Proprietà distintive	Concetto	Utensili da cucina	Oggetti	Nessuna
Tazzina	34%	31%	20%	15%
Forchetta	66.7%	23.3%	10%	
Cucchiaio	36.7%	30%	33.3%	
Pentola	60%	20%	15.7%	4.3%
	Concetto		Oggetti	Nessuna
Martello	48.6%		40%	11.4%
Scopa	45.5%		38.9%	15.6%
Ombrello	84.3%		15.7%	

	Concetto	Arredo	Oggetti	Nessuna
Divano	56%	32%	2%	10%
Poltrona	68.6%	24.3%	7.1%	
Libreria	37.2%	17.1%	44.3%	1.4%
Scrivania	82%	8%	10%	
		Utensili da cucina	Oggetti	Nessuna
Proprietà comuni utensili da cucina		22.5%	25%	52.5%
		Arredo	Oggetti	Nessuna
Proprietà comuni arredo		74.3%	8.6%	17.1%
			Oggetti	Nessuna
Proprietà comuni oggetti			12.5%	87.5%

Tab.6.4: Sono elencate le percentuali con cui una proprietà (distintive, marginale o condivisa) del modello oggetti richiama un concetto, una categoria, una supercategoria o nessuna di esse.

Dalle simulazioni vediamo che, rispetto alle simulazioni precedenti (Tab.6.1 e Tab. 6.2), mediamente il modello perde maggiormente le proprietà distintive del concetto, mantenendo le proprietà condivise di categoria. Abbiamo riassunto i risultati nelle, Tab.6.5 Tab.6.6.

60% of synapses damaged by 60%				
	Member	Category	Super-category	None
Land animals	57.74	39.68	2.25	0.33
Birds	64.5	30.83	2.5	2.17
Kitchen items	61.88	34.02	3.60	0.50
Tools	73.23	–	23.3	3.47
Furniture	68.77	30.88	0.35	0
	65.22			

Tab.6. :Sono riassunte le medie, per ogni categoria dei modelli animali e oggetti, con cui le proprietà richiamano il concetto, la categoria, la supercategoria o nessuna delle precedenti se sono state danneggiate il 60% delle sinapsi con un danno del 60%.

60% of synapses damaged by 70%				
	Member	Category	Super-category	None
Land animals	52.78	34.88	9.47	2.87
Birds	50.41	39.75	5.42	4.42
Kitchen items	49.35	26.08	19.75	4.82
Tools	59.47	–	31.53	9.00
Furniture	60.95	20.35	15.85	2.85
	54.59			

Tab.6.6: Sono riassunte le medie, per ogni categoria dei modelli animali e oggetti, con cui le proprietà richiamano il concetto, la categoria, la supercategoria o nessuna delle precedenti se sono state danneggiate il 60% delle sinapsi con un danno del 70%.

6.2 Danneggiamento neurone.

Come passo successivo del danneggiamento della rete, si è pensato di danneggiare direttamente il neurone. Il danneggiamento a livello del neurone avviene danneggiando proprietà del concetto, che non vengono necessariamente date come input. Nelle simulazioni che seguono, il danneggiamento è banalmente dato da un ingresso molto negativo, in modo tale che il neurone non possa partecipare alla simulazione.

Dando in ingresso al modello due proprietà distintive salienti e due proprietà distintive marginali, se viene danneggiato una proprietà saliente la parola associata al concetto viene richiamata ma non supera un certo valore. Danneggiando entrambe le proprietà salienti, invece la parola associata al concetto non viene richiamata; se danneggiamo una o entrambe le proprietà marginali, la parola associata al concetto viene totalmente richiamata.

Alcuni esempi sono raffigurati nei grafici sottostanti.

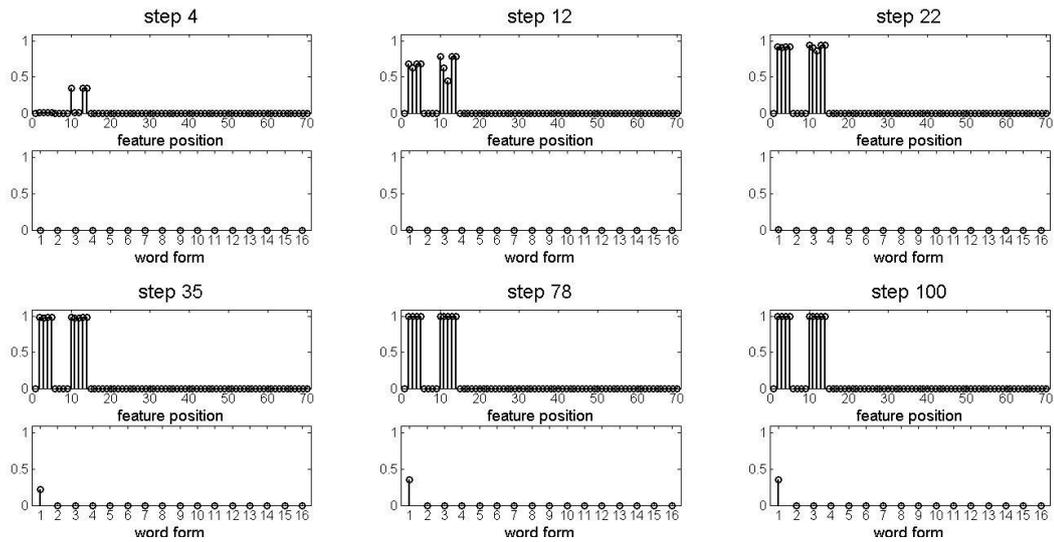


Fig.6.11: Si è danneggiato la proprietà “abbaia” (9), saliente per “cane”; e in ingresso sono date le proprietà “scodinzola”(10), “affettuoso”(13), “da caccia”; il modello richiama le altre proprietà associate al concetto e la parola “cane” (1) non supera un certo valore (circa 0.4).

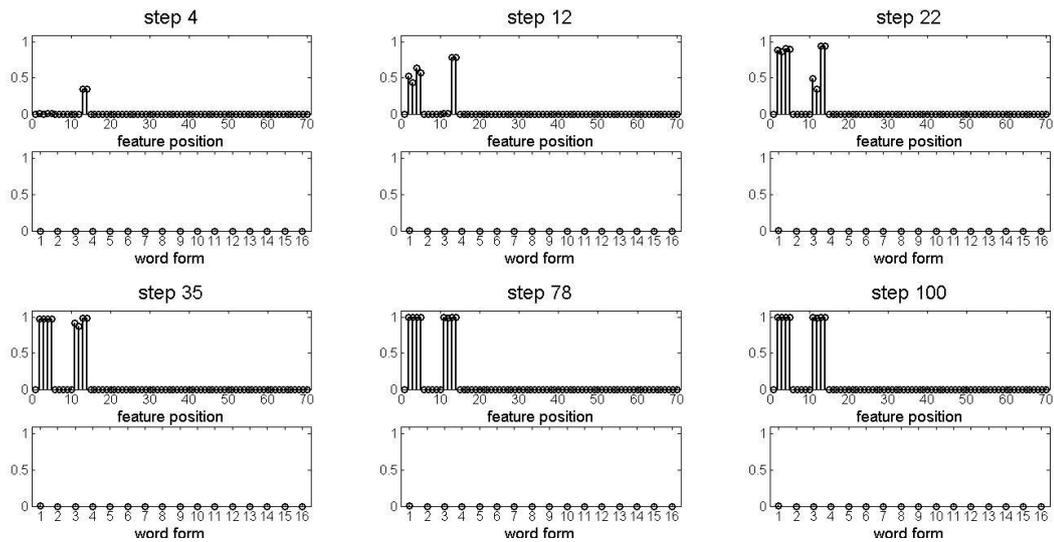


Fig.6.1: Abbiamo danneggiato entrambe le proprietà salienti “abbaia” (9) e “scodinzola” (10), in ingresso abbiamo solo le due proprietà marginali “affettuoso” (13) e “da caccia” (14); in questo caso la parola associata “cane” (1) non viene richiamata, mentre le proprietà associate al concetto sono richiamate .

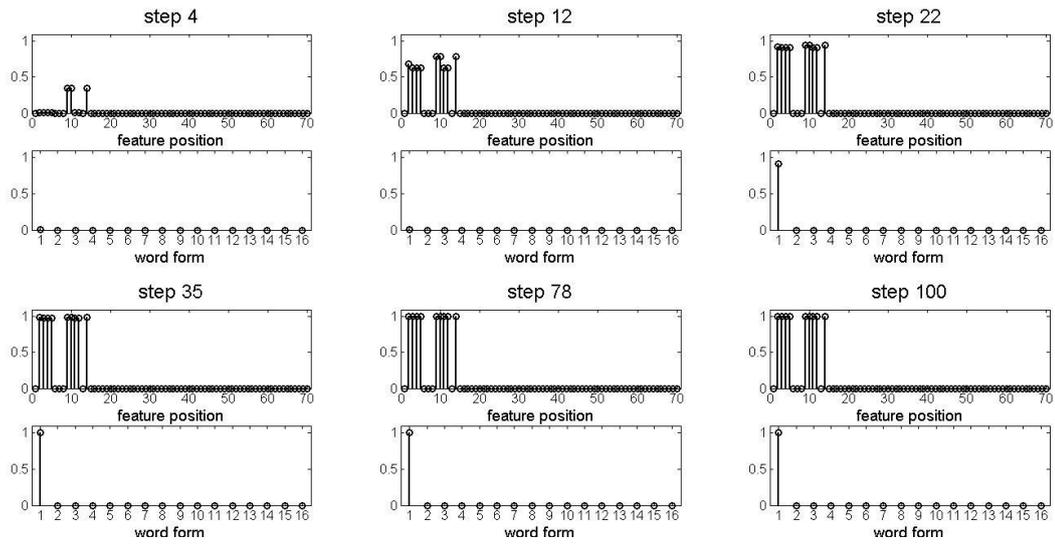


Fig.6.13: Si è danneggiato la proprietà “affettuoso” (13), marginale per il concetto, il modello è in grado di richiamare le proprietà del concetto e la parola associata “cane” (1).

Capitolo 7

7 MODELLO UNICO

Il modello unico è composto dall'unione dei modelli animali e oggetti, descritti nei *Capitoli 4 e 5*. È composto da 12 animali e 11 oggetti; sia gli animali che gli oggetti sono descritti da proprietà distintive, parzialmente condivise e totalmente condivise che portano alla formazione delle categorie “mammifero”, “erbivoro”, “uccello”, “arredo”, “utensili da cucina” e delle supercategorie “animali” e “oggetti”. La tassonomia di questo modello è data dall'unione delle tassonomie dei modelli precedenti *Fig. 4.1 e Fig. 5.1*.

La salienza delle caratteristiche è legata alla frequenza di occorrenza. Il modello è stato addestrato con soglia post-sinaptica variabile ($\vartheta_{post,j}^{SS} = 0.55 \div 0.95$), si è confrontato questa soglia con la frequenza di occorrenza. Nella *Tabella 7.1* sono riportate le percentuali di occorrenza delle proprietà e le posizioni all'interno della rete.

Proprietà	Percentuali	Posizioni
mangia;	70%	2
dorme;	70%	3
ha quattro zampe;	70%	4
ha il pelo;	70%	5
ha due zampe;	70%	6
ha le piume;	70%	7
ha le ali;	70%	8
abbaia;	70%	9
scodinzola;	70%	10
domestico;	70%	11
da compagnia;	70%	12
affettuoso;	40%	13
da caccia;	40%	14
miagola;	70%	15
fa le fusa;	70%	16
caccia i topi;	70%	17
ha i baffi;	70%	18
graffia;	40%	19
è indipendente;	40%	20

mangia erba;	70%	21
bela;	70%	22
si tosa;	70%	23
si ricava la lana;	70%	24
vive in gregge;	70%	25
pascola (mucca);	70%	26
pascola;	40%	26
è mite	40%	27
muggisce;	70%	28
ha le corna;	70%	29
si ricava il latte;	70%	30
ha le macchie;	70%	31
vive nella fattoria;	40%	32
ha le strisce bianche e nere;	70%	33
simile al cavallo;	70%	34
vive nella savana (zebra);	70%	35
vive nella savana (giraffa);	40%	35
selvatico;	40%	36
ha la criniera	40%	37
alto;	70%	38
ha il collo lungo;	70%	39
giallo;	40%	40
ha le piume bianche;	70%	41
vola;	70%	42
ha la zampe palmate;	70%	43
vive nello stagno;	70%	44
depone le uova (oca);	40%	45
depone le uova (gallina);	70%	45
ha il becco arancione;	40%	46
starnazza;	40%	47
vive nel pollaio;	70%	48
ha la cresta;	70%	49
fa i pulcini;	70%	50
becca;	70%	51
svolazza;	70%	52
canta al mattino;	70%	53
ha i bargigli;	70%	54
unico nel pollaio;	70%	55
ha la cresta rossa ;	40%	56
sveglia;	40%	57
ripete i suoni;	70%	58
esotico;	70%	59
di vari colori;	70%	60
ha il becco grosso;	40%	61
porta sfortuna;	70%	62
rapace;	70%	63
caccia di notte;	40%	64
ha il becco adunco;	40%	65
tuba;	70%	66
mangia le briciole;	70%	67
vive nelle piazze;	70%	68
muove la testa avanti e dietro;	40%	69
si usava per mandare messaggi;	40%	70
creato dall'uomo;	70%	71
non vivente;	70%	72
si trova in cucina;	70%	73

usato col cibo;	70%	74
un mobile;	70%	75
si trova in casa;	70%	76
ha il manico;	70%	77
da caffè;	70%	78
ha il piattino;	70%	79
contiene liquidi;	70%	80
piccolo;	40%	81
usato per colazione;	40%	82
bianco;	40%	83
di vari materiali;	40%	84
di varie fantasie;	40%	85
di vetro;	40%	86
rotondo;	40%	87
da the;	40%	88
ha i denti;	70%	89
usato per mangiare;	70%	90
usato per infilzare;	70%	91
ha quattro denti;	70%	92
di plastica;	40%	93
di metallo;	40%	94
di metallo (libreria);	70%	94
di acciaio	40%	95
di acciaio (pentola);	70%	95
di legno;	40%	96
si trova in tavola;	40%	97
si trova nel cassetto;	40%	98
usato col coltello;	40%	99
posata;	70%	100
usato per mangiare la minestra;	70%	101
usato per mescolare;	40%	102
Usato da tutti;	40%	103
usato da tutti (cucchiaino);	70%	103
usato per cucinare;	70%	104
ha due manici;	70%	105
si mette sui fornelli;	70%	106
usato dal cuoco;	40%	107
cavo;	40%	108
contiene;	40%	109
contiene (libreria);	70%	109
cilindrico;	40%	110
si trova al ristorante;	40%	111
di varie dimensioni;	40%	112
usato per inchiodare;	70%	113
testa di metallo;	70%	114
manico di legno;	70%	115
manico di legno (scopa);	40%	115
usato per battere;	70%	116
pesante;	40%	117
usato dal carpentiere;	40%	118
si impugna;	40%	119
usato per togliere i chiodi;	40%	120
usato per pulire;	70%	121
ha le setole;	70%	122
usato per raccogliere lo sporco;	70%	123
usato per pavimenti;	40%	124
ha le setole di plastica;	40%	125
manico di plastica;	40%	126
usato dalla casalinga;	40%	127
usato con la paletta;	40%	128
leggero;	40%	129
elettrica;	40%	130
impermeabile;	70%	131
ripara dalla pioggia;	70%	132
ripara dal sole;	70%	133
ha le stecche;	70%	134
allungato;	40%	135
ha il manico ricurvo;	40%	136
ha la struttura raggiera;	40%	137
usato per sedersi;	70%	138
morbido;	70%	139
comodo;	70%	140

usato per riposare;	70%	141
usato per riposare (poltrona);	40%	141
ha i cuscini;	70%	142
ha più posti;	70%	143
si trasforma in letto;	40%	144
rivestito;	40%	145
imbottito;	40%	146
usato per distendersi;	40%	147
si trova in salotto;	70%	148
di pelle;	70%	149
di varie tinte;	40%	150
ha lo schienale;	40%	151
usato per guardare la tv;	40%	152
ha i piedi;	40%	153
ha i braccioli;	70%	154
contiene libri;	70%	155
ha gli scaffali;	70%	156
grande;	40%	157
contiene soprammobili;	40%	158
si trova in biblioteca;	40%	159
si trova in ufficio;	40%	160
di varie altezze;	40%	161
ha i cassetti;	70%	162
ha le gambe;	70%	163
ha quattro gambe;	70%	164
usato per studiare;	70%	165
si trova in camera da letto;	70%	166
usato per scrivere;	40%	167
si trova nello studio;	40%	168
ha un piano di appoggio;	40%	169
simile a un tavolo;	40%	170
liscio;	40%	171

Tab.7.1: Nella prima colonna sono elencate le proprietà del modello, nella seconda sono elencate le percentuali di occorrenza di ogni proprietà, nella terza colonna, invece, sono elencate le posizioni relative a ciascun unità semantica che codifica per una proprietà.

Concetto/ parola	Proprietà	Posizione
Cane	2,3,4,5,9,10,11,12,13,14	1
Gatto	2,3,4,5,11,15,16,17,18,19,20	2
Pecora	2,3,4,5,21,22,23,24,25,26,27,32	3
Mucca	2,3,4,5,21,26,28,29,30,31,32	4
Zebra	2,3,4,5,21,33,34,35,36,37	5
Giraffa	2,3,4,5,21,31,35,36,38,39,40	6
Oca	2,3,6,7,8,39,41,42,43,44,45,46,47	7
Gallina	2,3,6,7,8,45,48,49,50,51,52	8
Gallo	2,3,6,7,8,52,53,54,55,56,57	9
Pappagallo	2,3,6,7,8,42,58,59,60,61	10
Gufo	2,3,6,7,8,42,62,63,64,65	11
Piccione	2,3,6,7,8,42,66,67,68,69,70	12
Mammifero	2,3,4,5	13
Uccello	2,3,6,7,8,42,52	14
Animale	2,3	15
Erbivoro	2,3,4,5,21,26	16
Tazzina	71,72,73,74,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88	17
Forchetta	71,72,73,74,77,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99	18
Cucchiaino	71,72,73,74,77,90,93,94,96,100,101,102,103	19
Pentola	71,72,73,74,95,104,105,106,107,108,109,110,111,112	20
Martello	71,72,77,103,113,114,115,116,117,118,119,120	21
Scopa	71,72,77,103,115,121,122,123,124,125,126,127,128,129, 130	22
Ombrello	71,72,77,93,103,129,131,132,133,134,135,136,137	23
Divano	71,72,75,76,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147, 148	24
Poltrona	71,72,75,76,138,139,140,141,142,149,150,151,152,153, 154	25
Libreria	71,72,75,76,94,96,109,112,155,156,157,158,159,160,161	26

Scrivania	71,72,75,76,94,96,109,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171	27
Utensili da cucina	71,72,73,74	28
Arredo	71,72,75,76	29
Oggetti	71,72	30

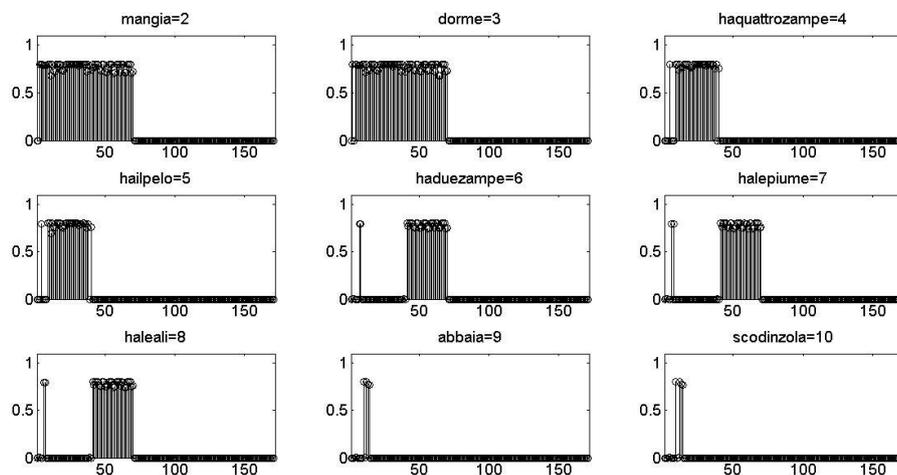
Tab.7.2: Nella prima colonna sono riportati i nomi dei concetti e quindi la parola associata ad ogni unità lessicale. Nella seconda colonna ci sono tutte le proprietà associate ad ogni concetto, riportate sottoforma di posizione all'interno della rete semantica. Nella terza colonna sono riportate le posizioni corrispondenti a ciascuna parola nella rete lessicale.

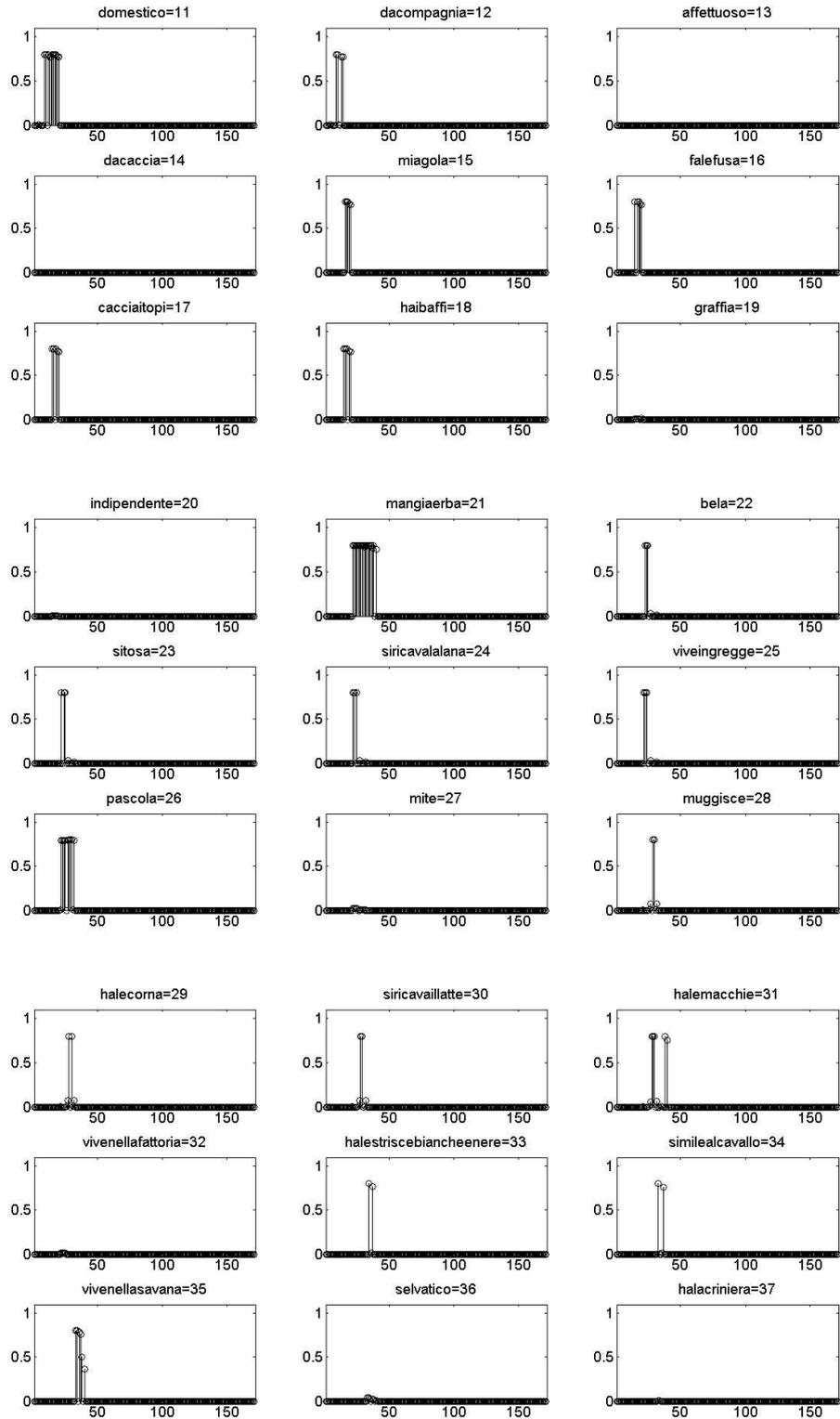
I parametri utilizzati per addestrare la rete sono gli stessi utilizzati in precedenza e sono elencati nelle Tab. 4.3, Tab.4.4 Tab.5.3 e Tab.5.4.

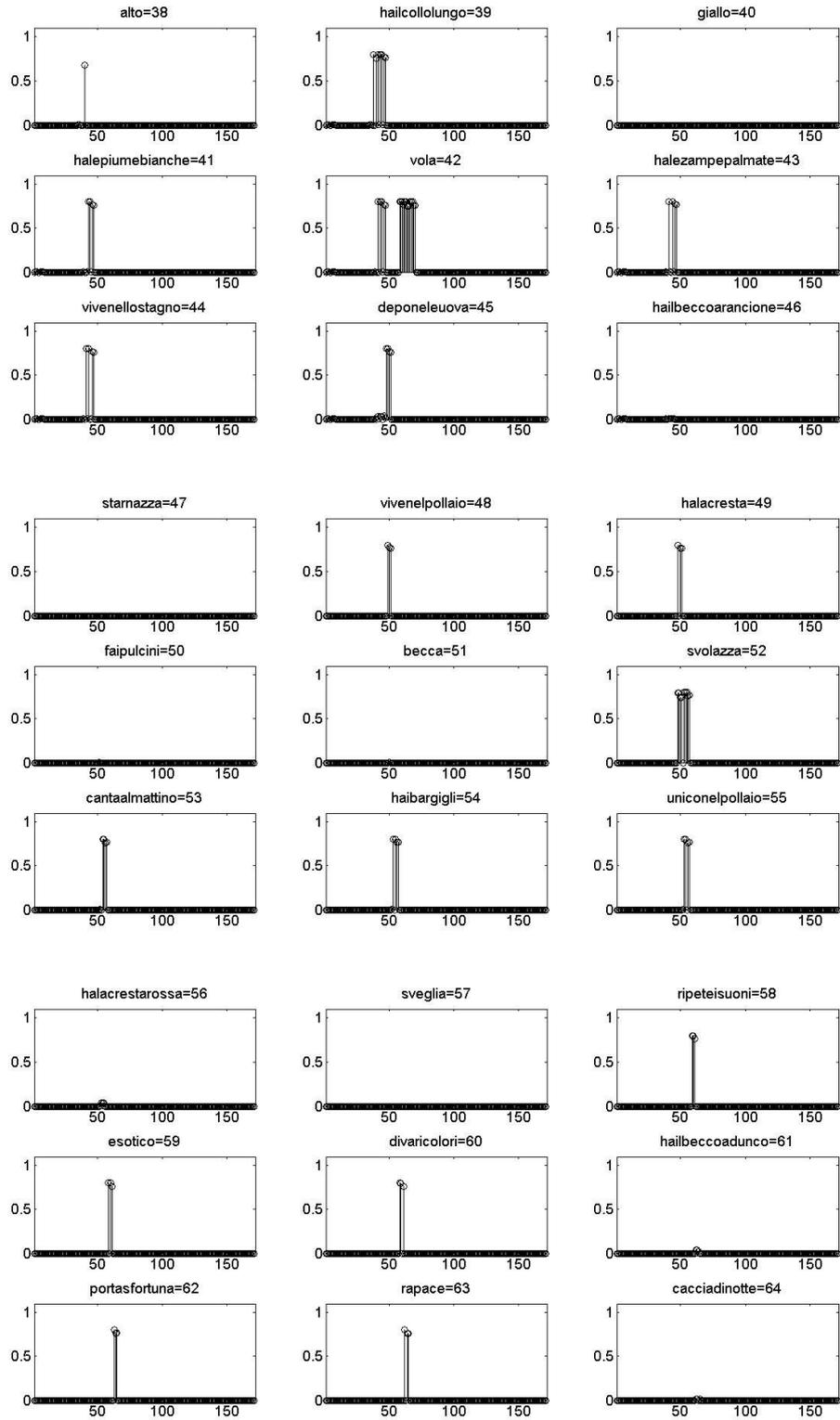
7.1 Risultati

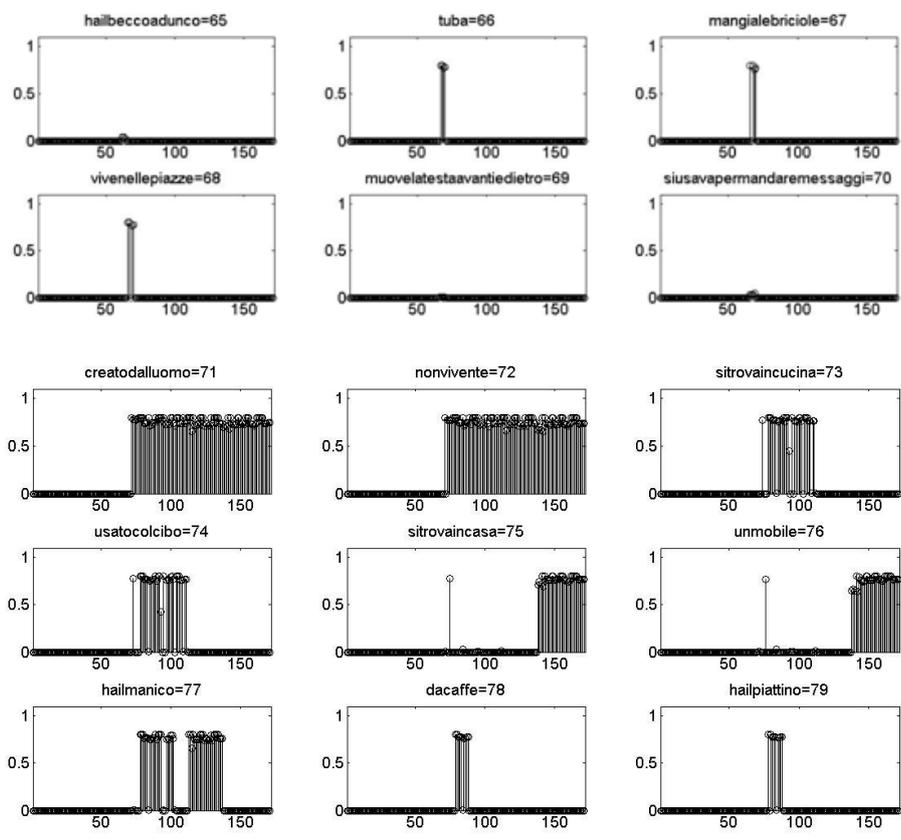
7.1.1 Addestramento semantico (fase 1).

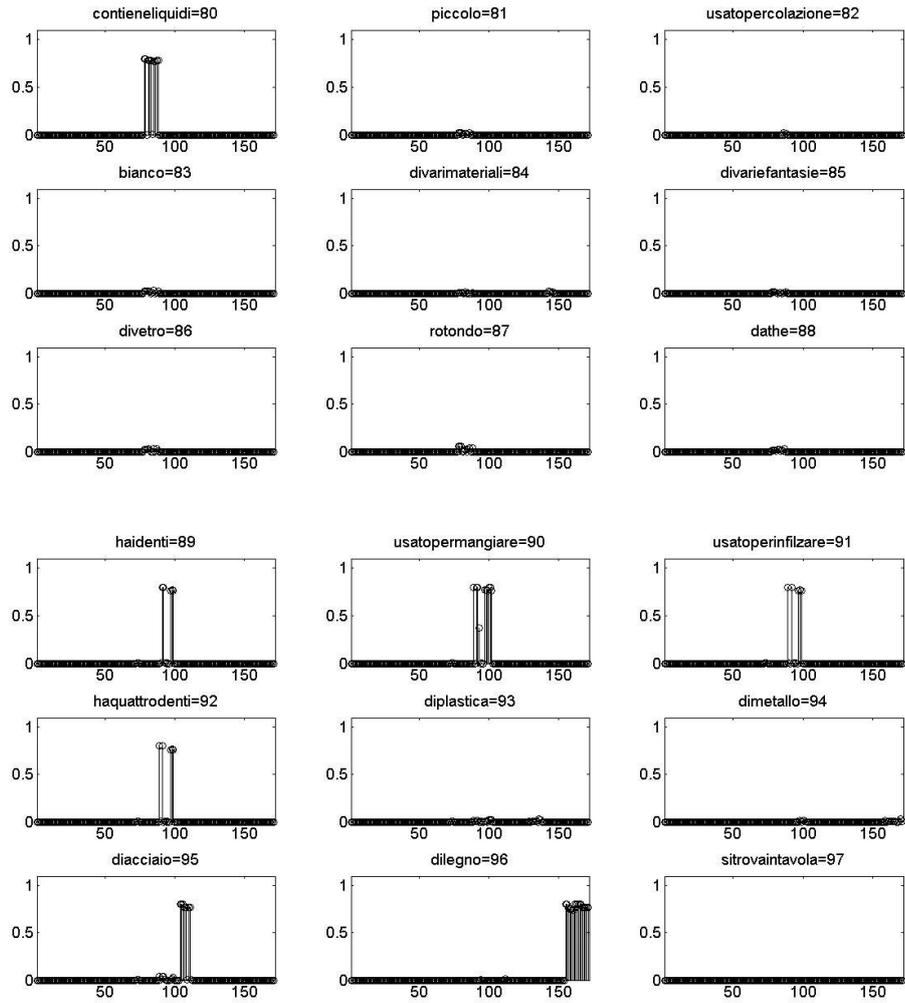
I risultati dopo l'addestramento semantico sono riportati nei grafici sottostanti, dove in ascissa abbiamo le proprietà e in ordinata la forza sinaptica.

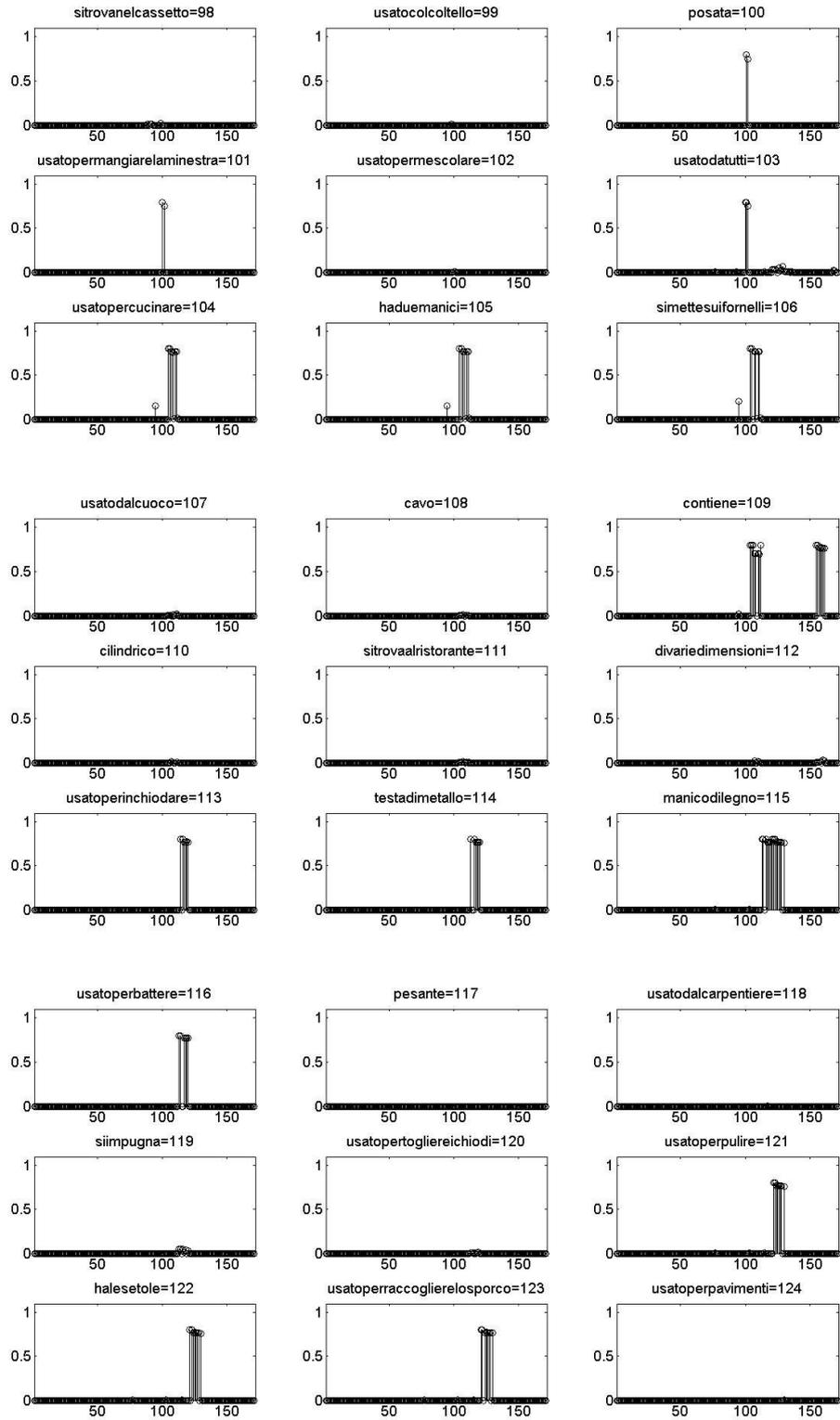


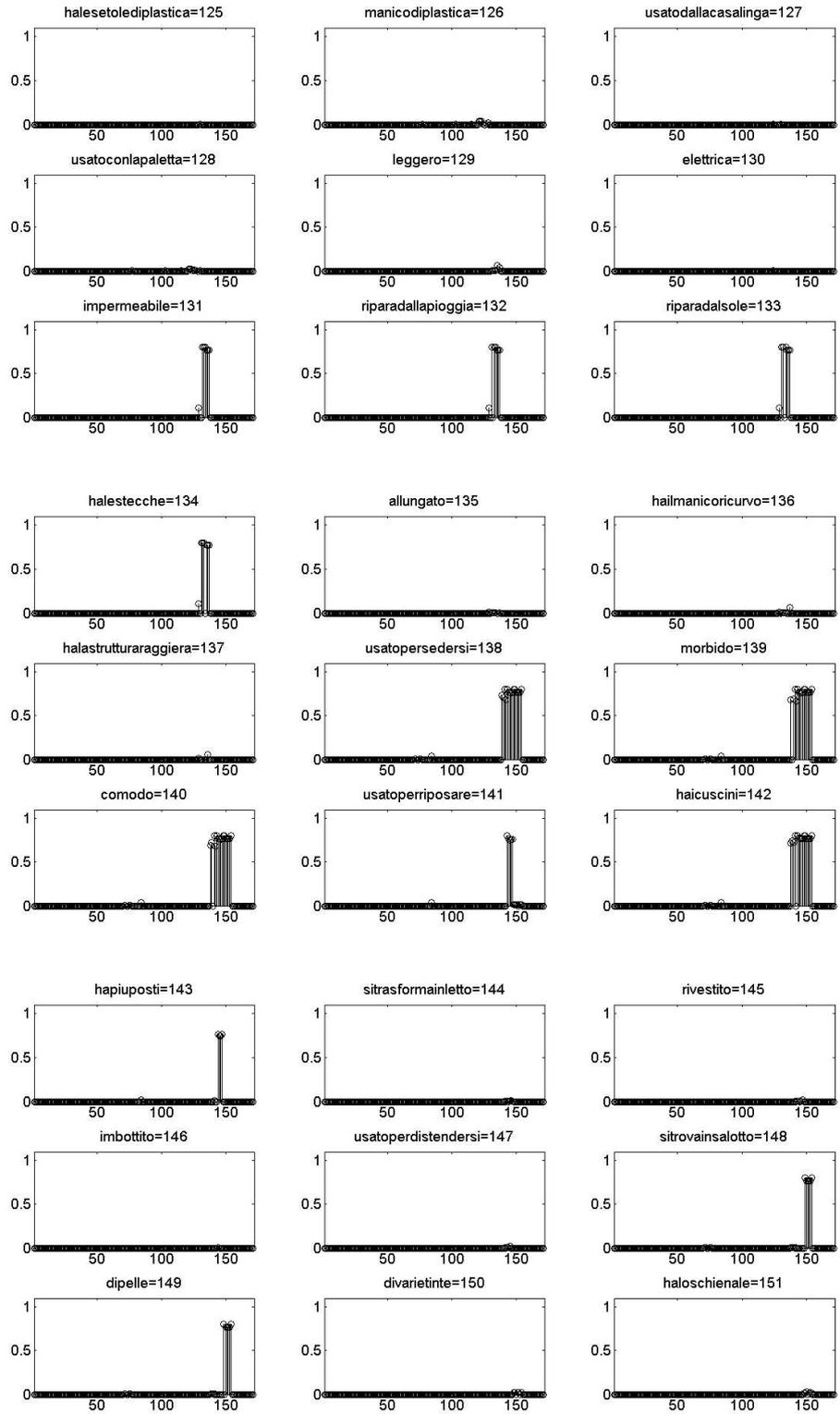


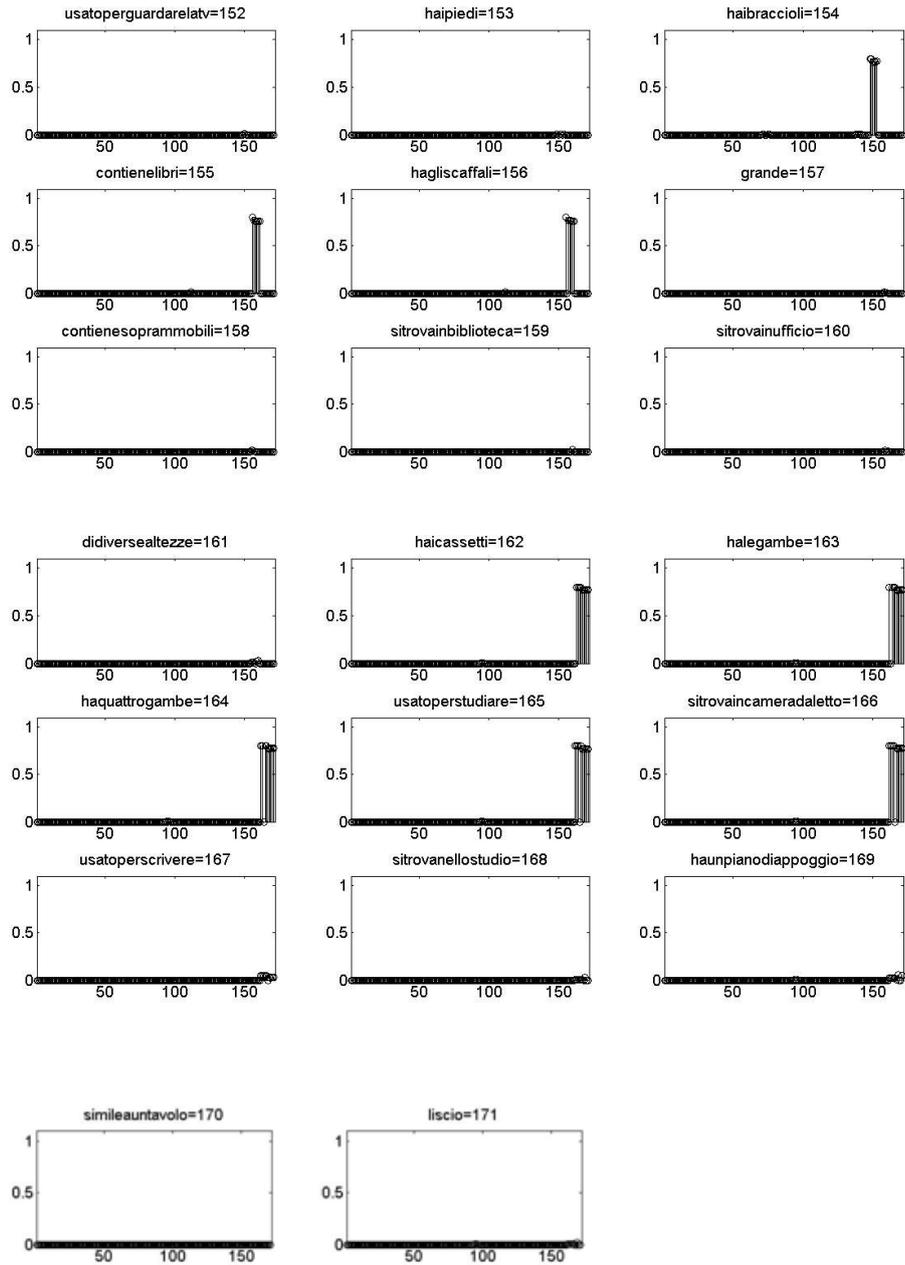






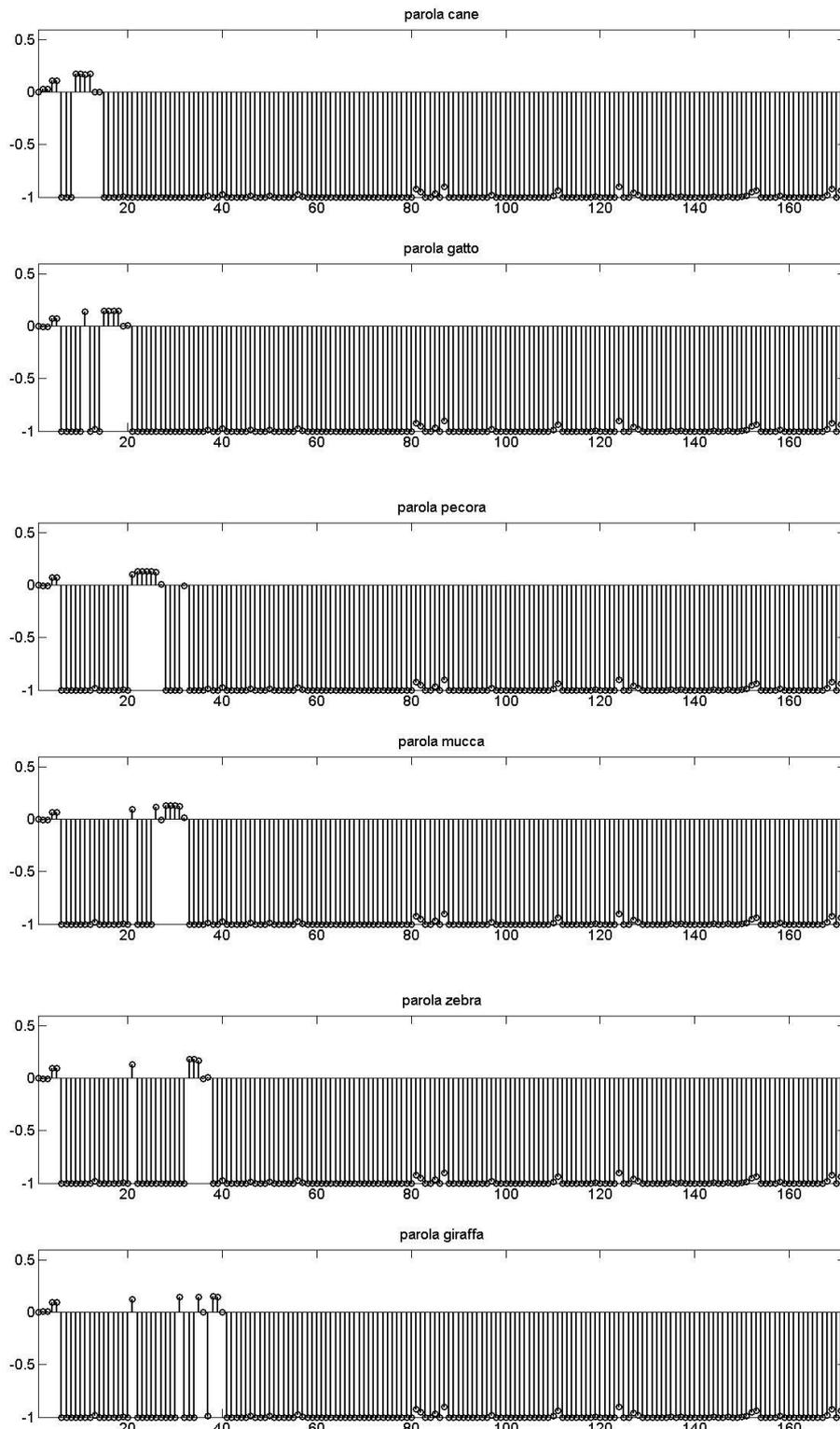


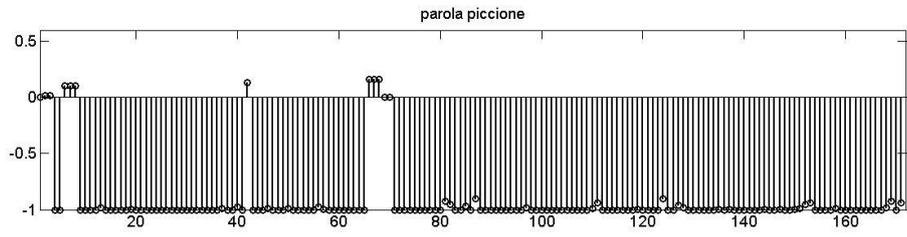
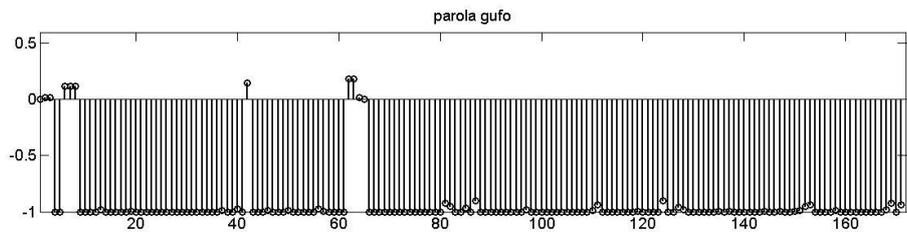
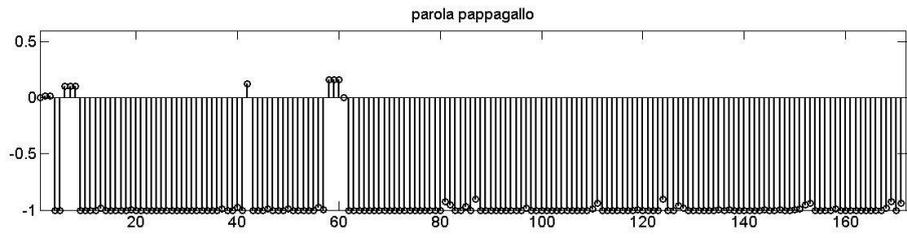
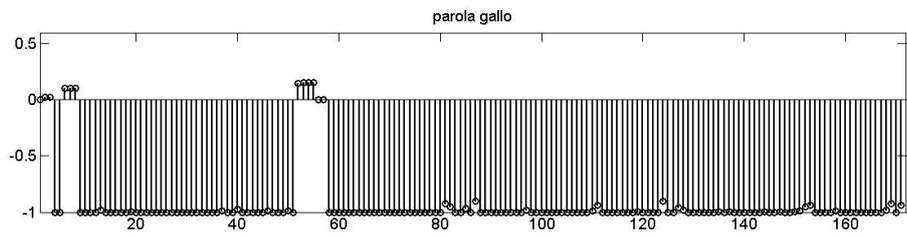
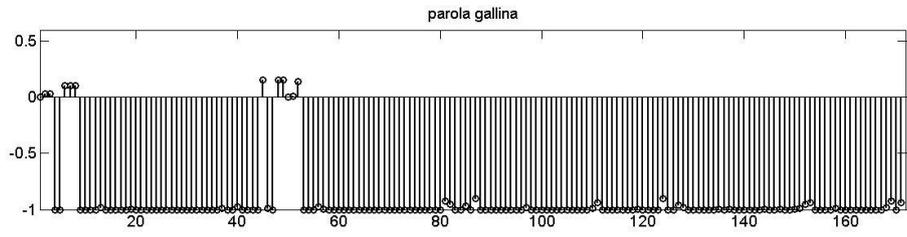
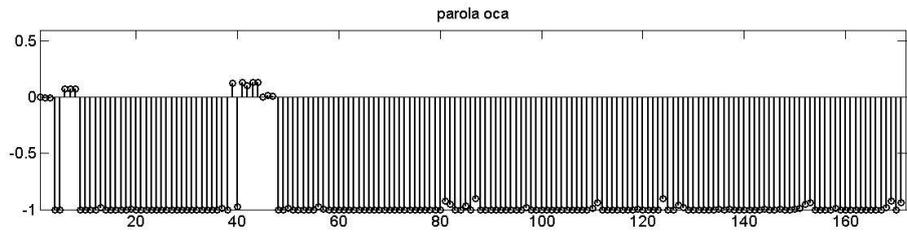


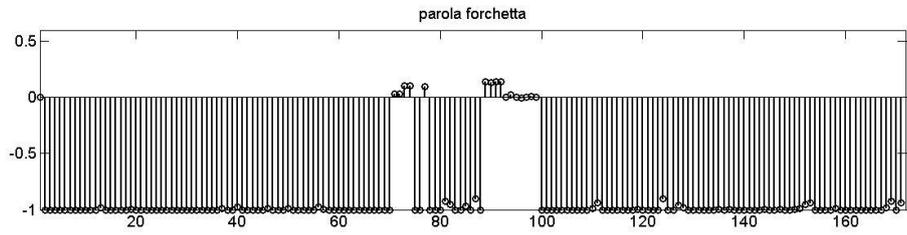
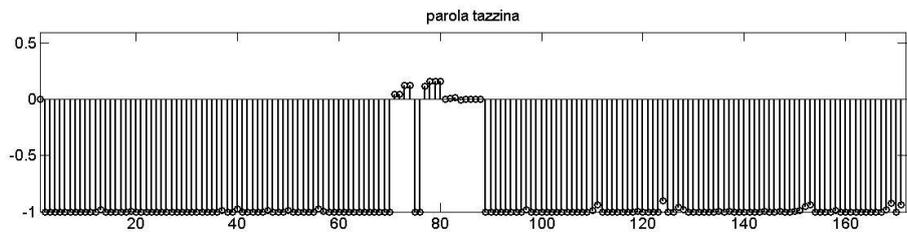
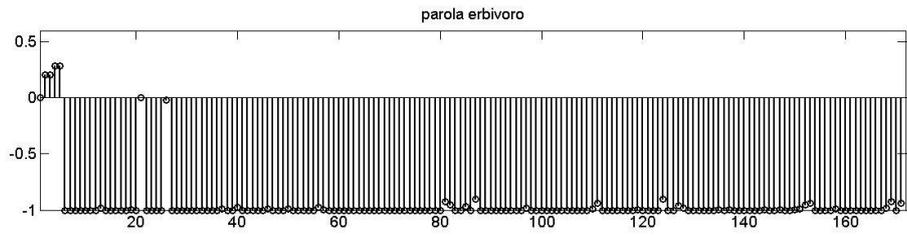
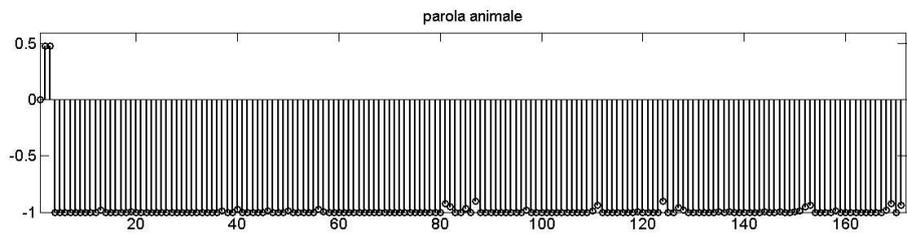
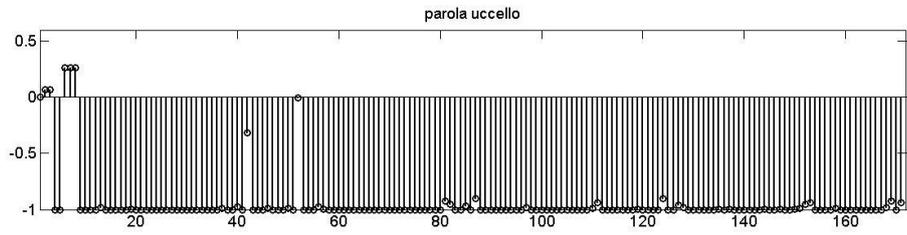
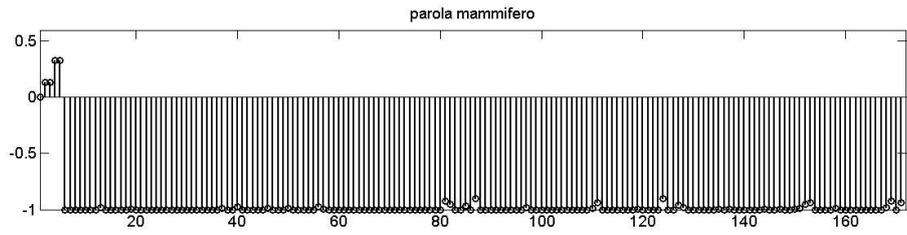


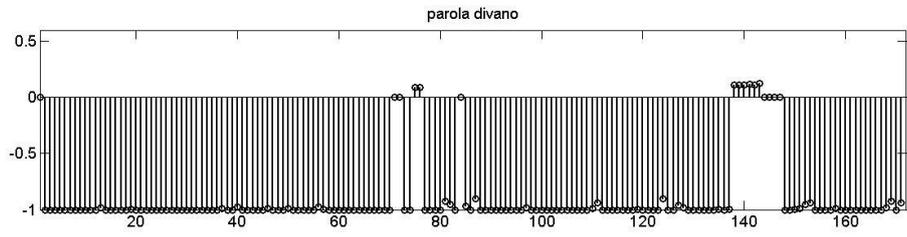
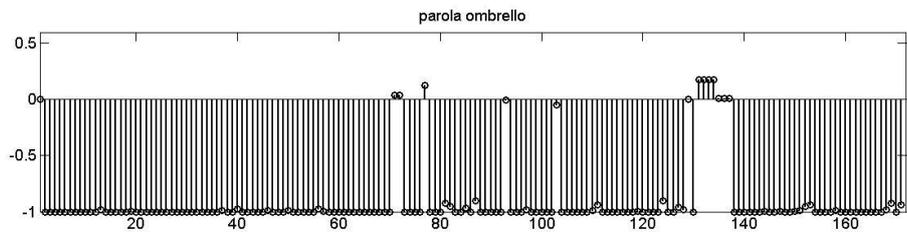
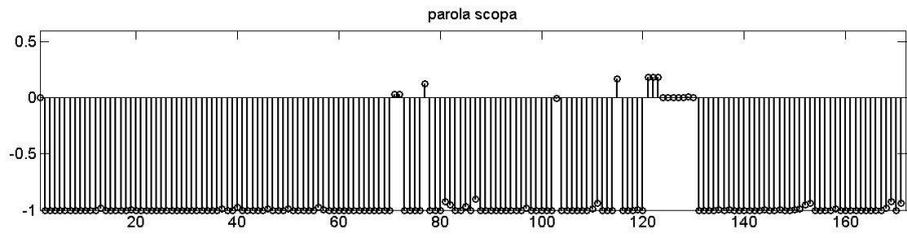
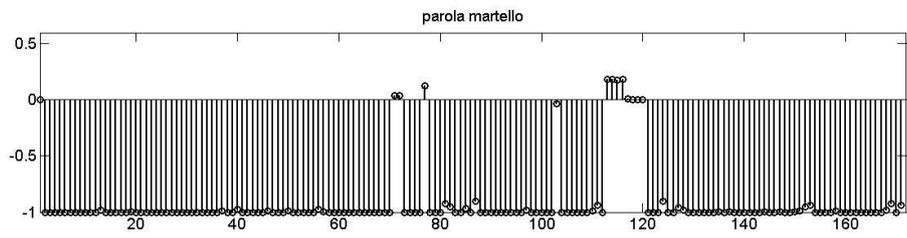
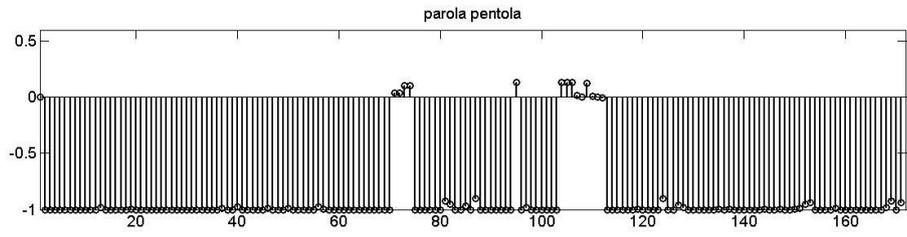
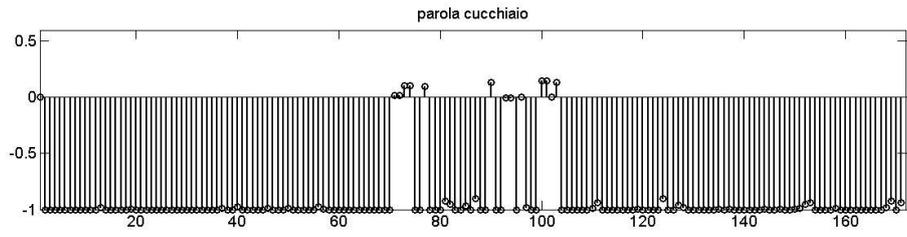
7.1.2 Addestramento lessicale (fase 2).

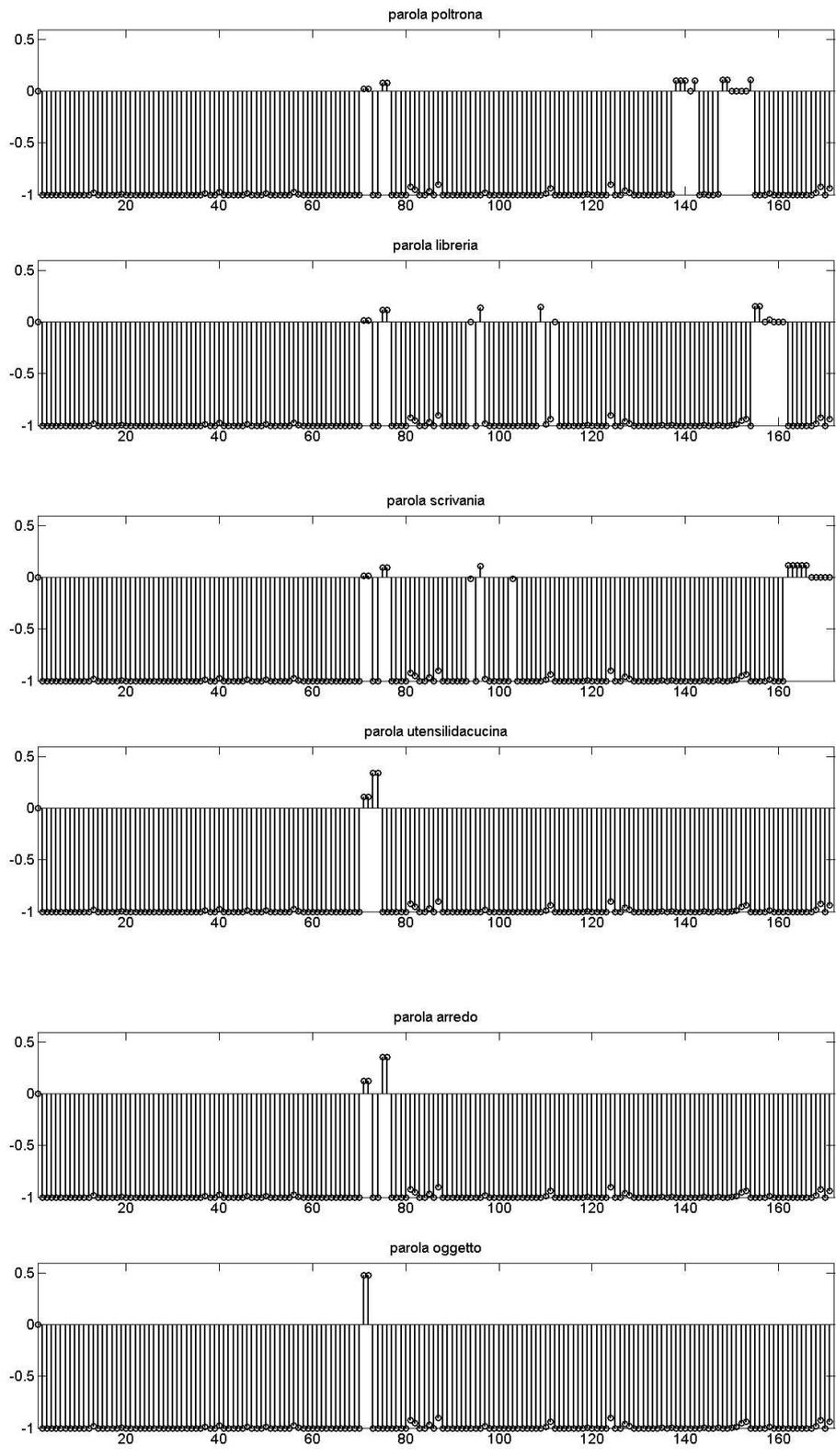
Vediamo come si comporta il modello dopo l'addestramento lessicale.



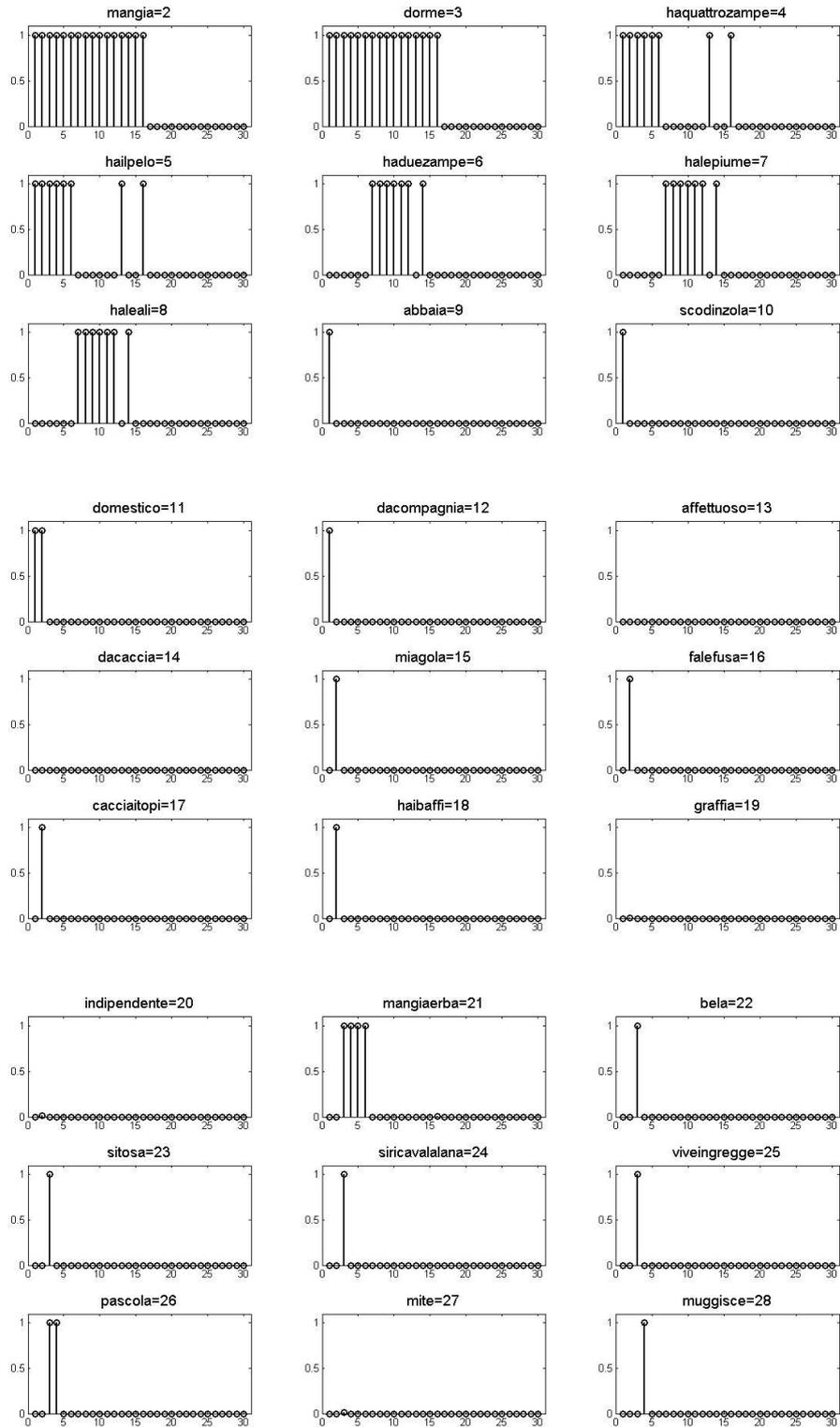


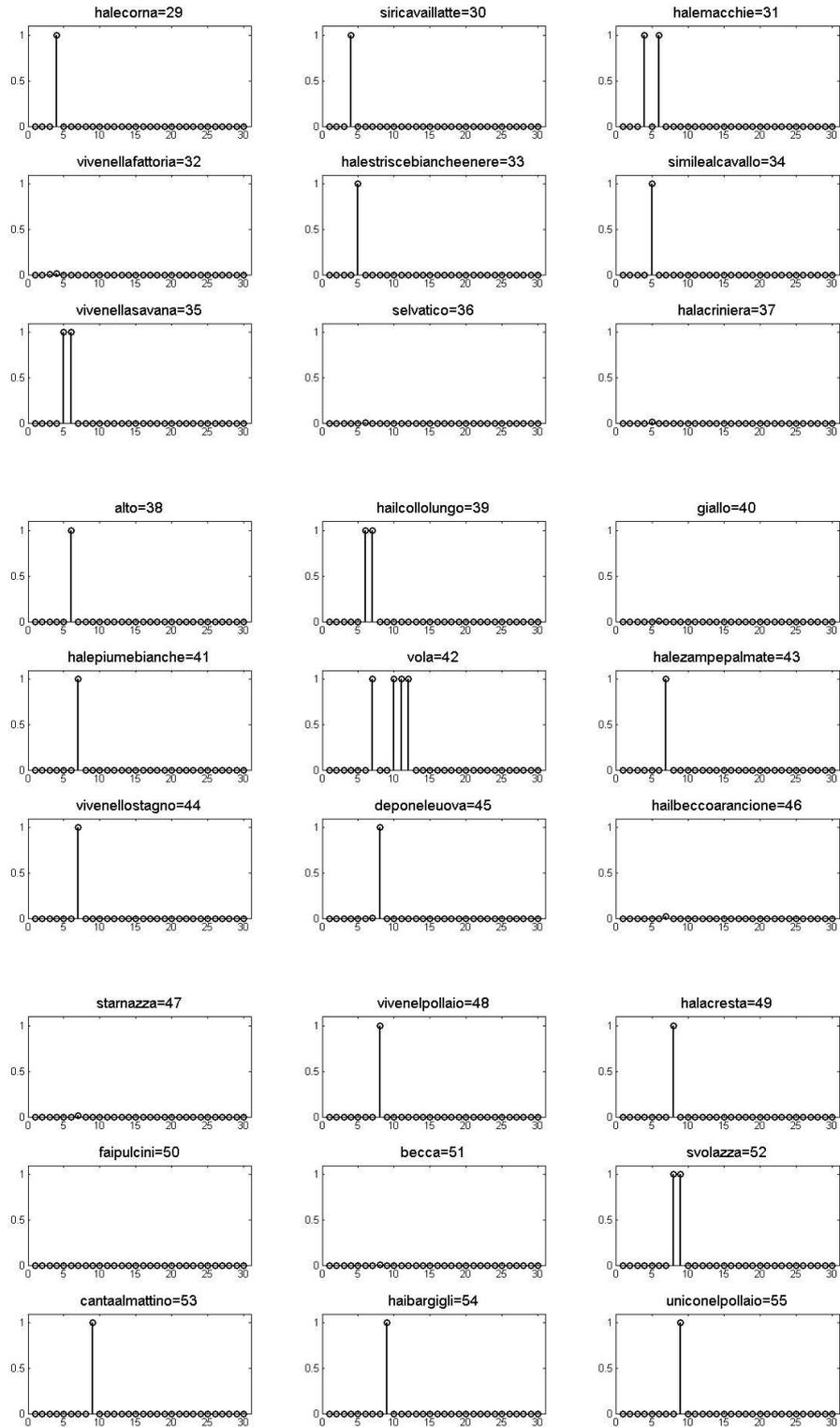


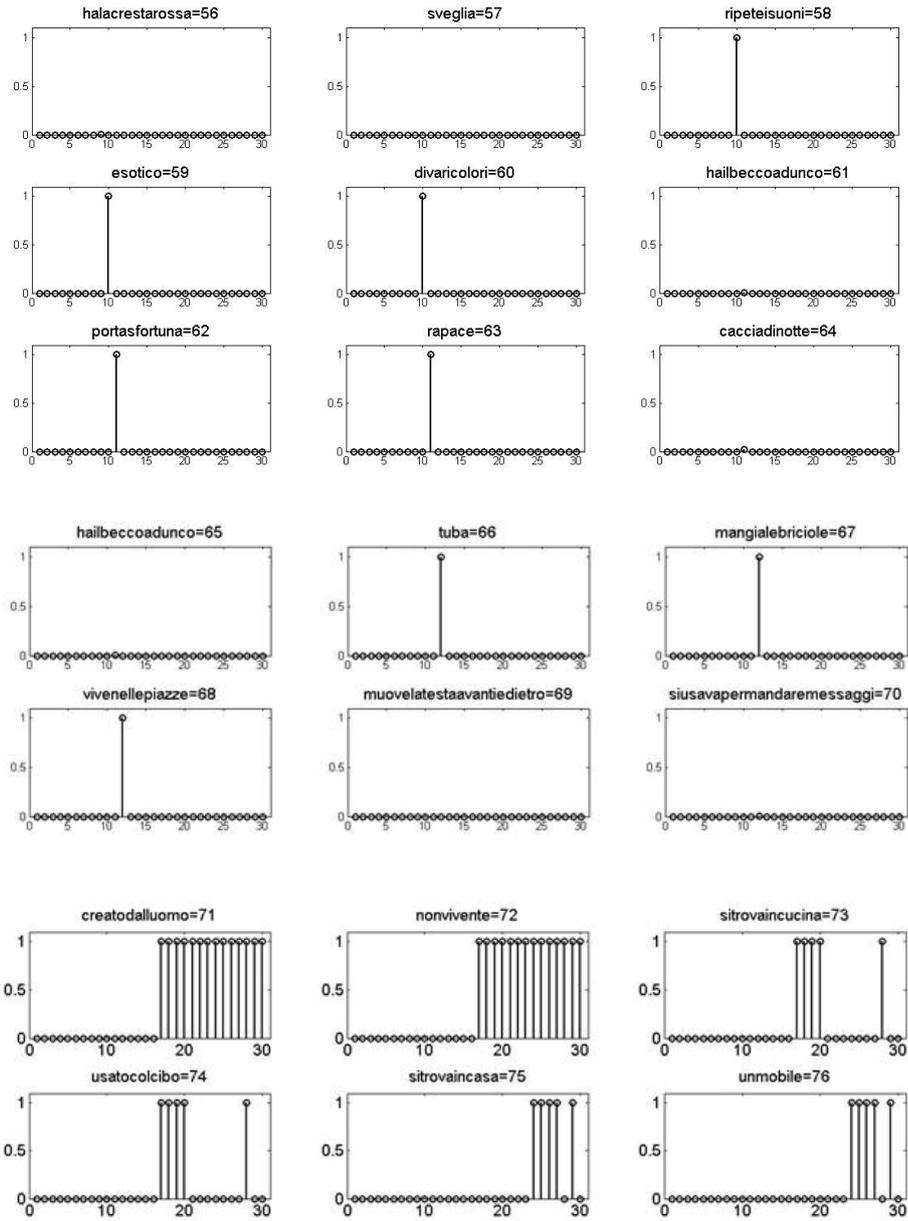


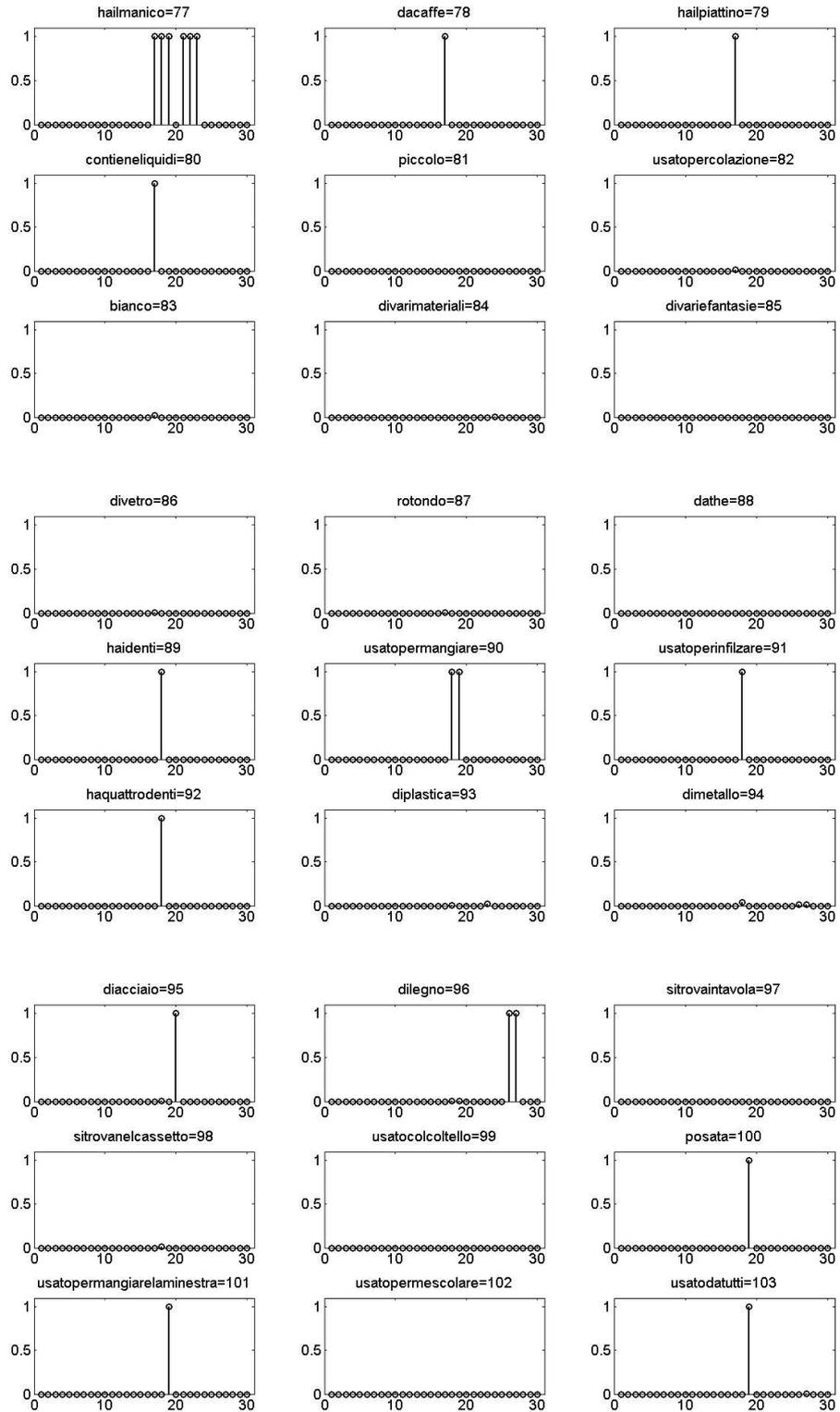


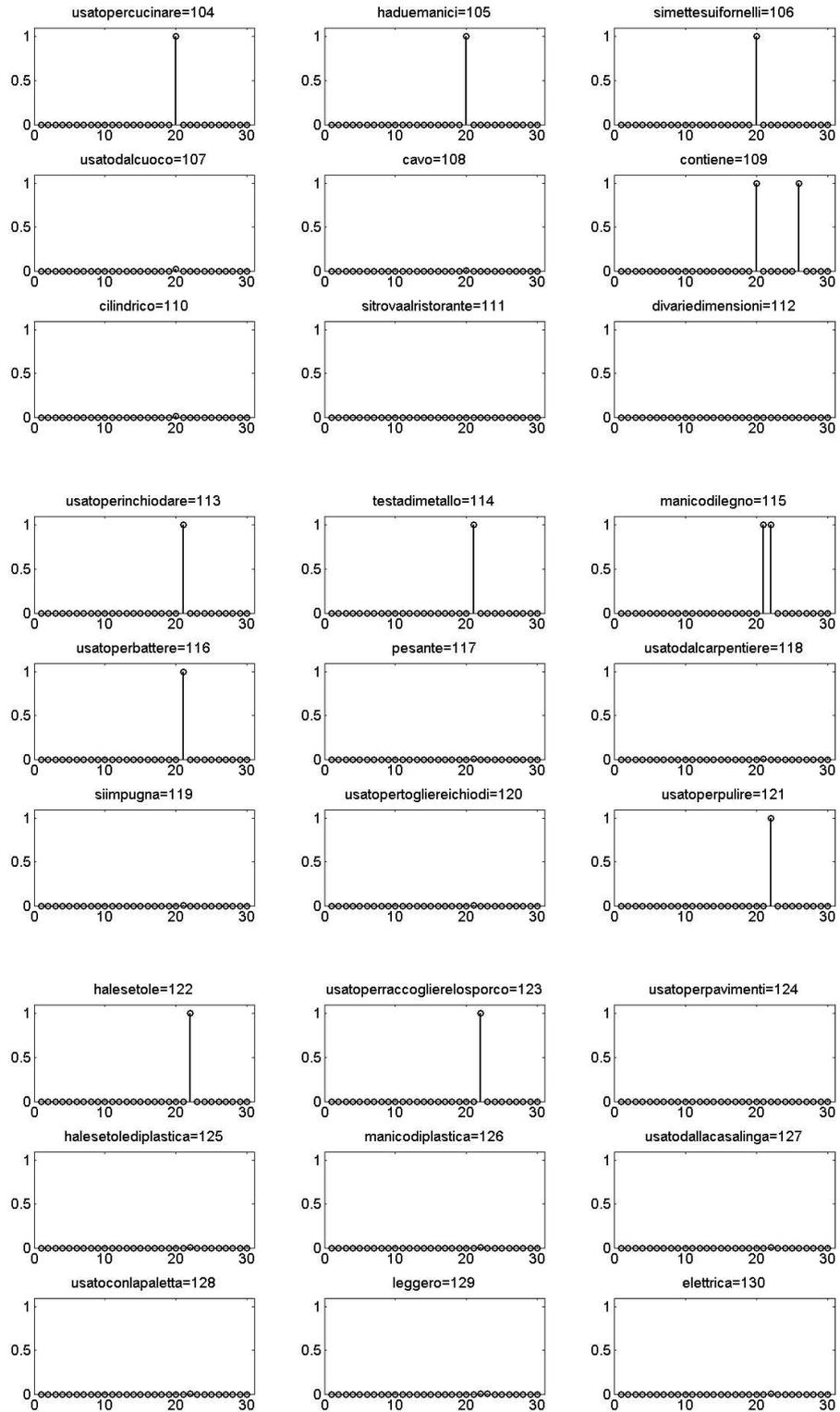
I grafici seguenti, mostrano la forza delle sinapsi che entrano nelle singole proprietà dalle unità lessicali.

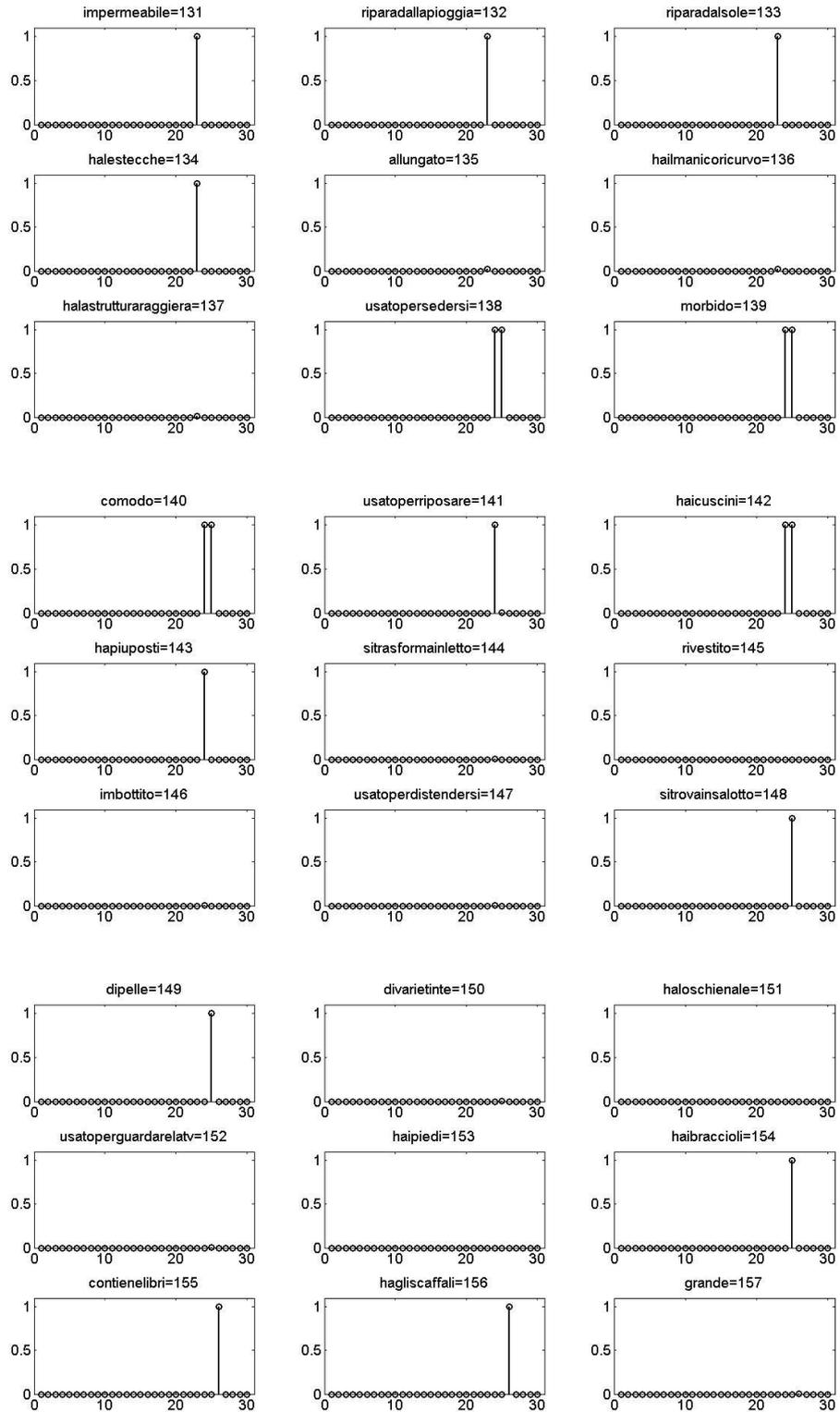


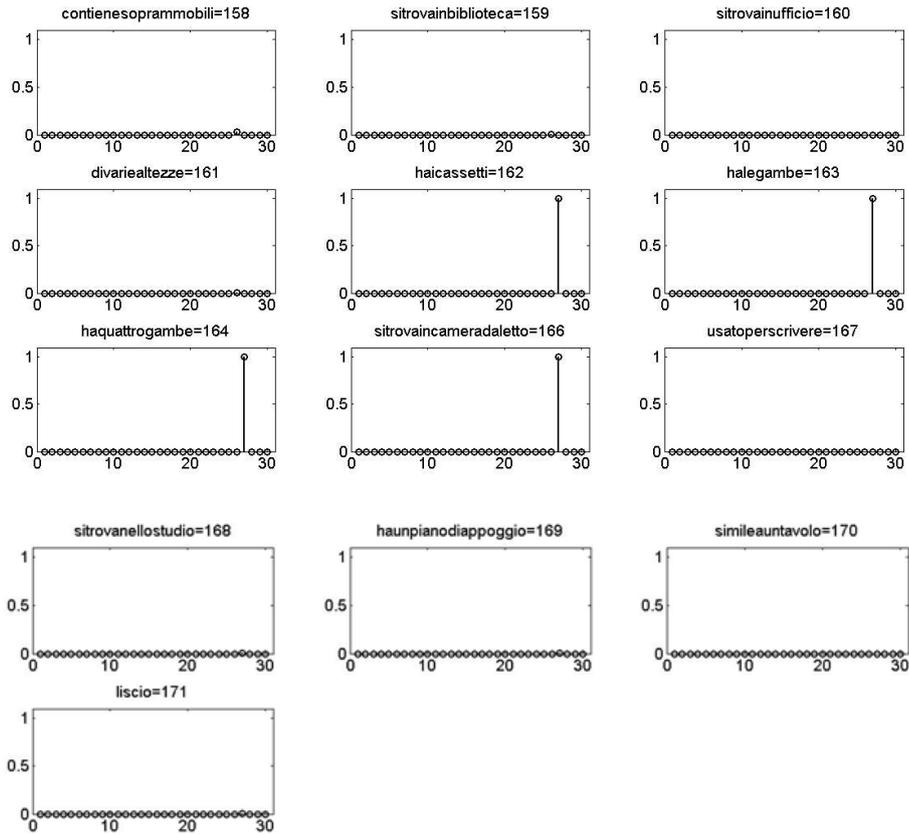






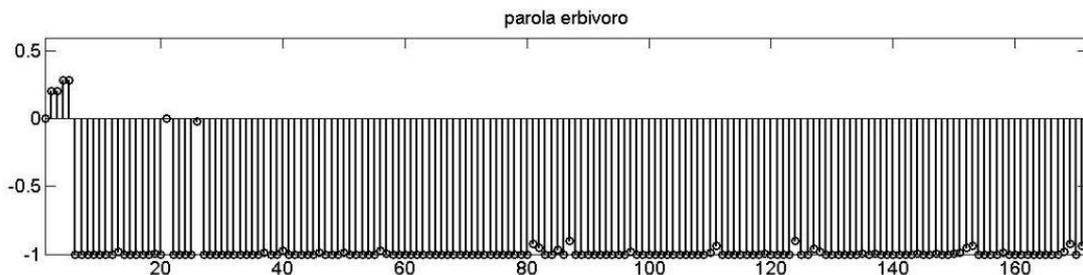






7.2 Limiti del modello.

Il modello si comporta in modo analogo ai modelli descritti nei capitoli precedenti. Anche i limiti riscontrati in questo modello unico sono identici a quelli nei modelli precedenti con l'aggiunta che non si crea nessun "legame" tra la parola "erbivoro" e la proprietà "mangia l'erba". Come si può vedere nelle figure seguenti.



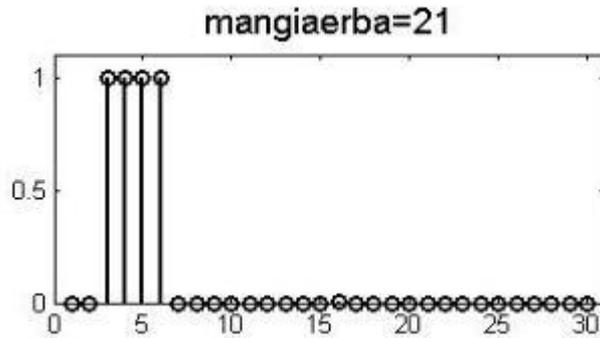


Fig.7.1: Nella figura superiore osserviamo che la proprietà “mangia erba” (21) non invia nessuna sinapsi alla parola “erbivoro”. Nella figura inferiore, invece, si può osservare che “mangia erba” non riceve nessuna sinapsi dall’ unità lessicale “erbivoro” (16).

Questo comporta che non c’è nessuna differenza tra “erbivoro” e “mammifero”; se si dà in ingresso una delle proprietà in comune tra le due forme verbali, viene richiamato anche “mammifero”.

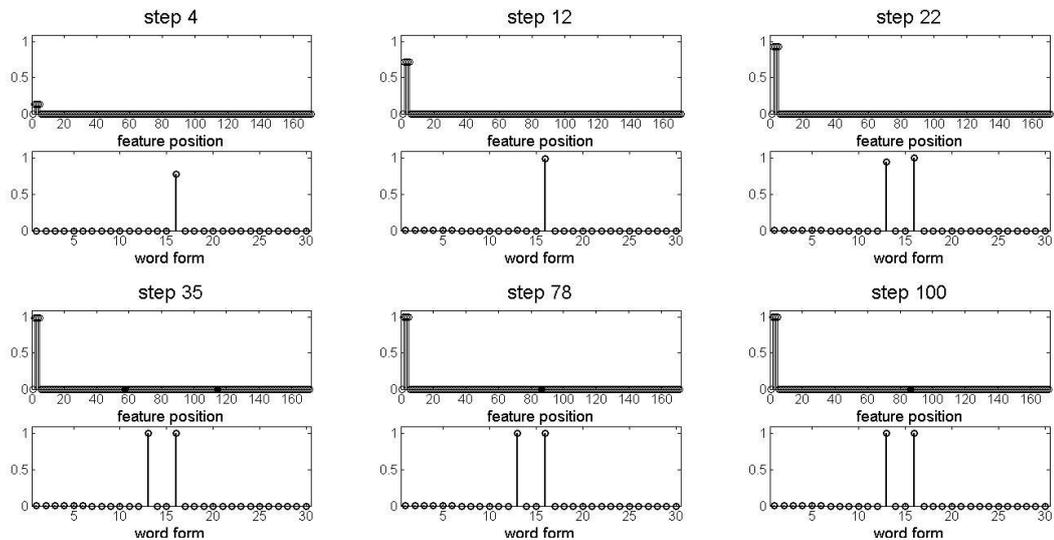


Fig.7.2: Dando in ingresso la parola “erbivoro” (16) , il modello richiama le proprietà associate a “mammifero” più la parola stessa (13).

Si è osservato che questi risultati sono legati alla frequenza di occorrenza della proprietà “mangia erba” che se aumentata al 90% crea il “legame” tra la word-form e la proprietà.

Capitolo 8

8 PRIMING

Il priming è un fenomeno psicologico per il quale l'esposizione a uno stimolo influenza la risposta a stimoli successivi. L'influenza dello stimolo può esercitarsi a livello percettivo, semantico o concettuale. Ad esempio, la ripetizione di una certa parola aumenterà la probabilità che una parola simile sia fornita come risposta ad una domanda, benché non sia la risposta corretta.

Il priming è stato simulato fornendo una parola associata al concetto come ingresso alla rete, evocando tutte le corrispondenti caratteristiche salienti nella rete semantica. Tuttavia, dopo pochi passi di iterazione, prima che la rete semantica arrivi nel suo punto di equilibrio (cioè, quando la dinamica dell'attrattore sta ancora lavorando e le caratteristiche salienti non hanno ancora raggiunto il livello di saturazione superiore) la prima word-form è stata ritirata e una seconda word-form è stata data come ingresso alla rete lessicale. Poi, abbiamo calcolato il numero di iterazioni necessarie per il riconoscimento della seconda parola. Diciamo che la seconda parola viene riconosciuta correttamente quando tutte le caratteristiche salienti hanno raggiunto una soglia di attivazione sufficiente (per esempio 0,9, pari al 90% dell'attività neurale massima).

I risultati sono illustrati nelle figure seguenti, dove si mostra la dipendenza del tempo di riconoscimento della seconda parola dalla prima parola, rispetto al caso di mancata innesco (cioè, quando soltanto la seconda parola è presentata). Chiaramente, quando le due parole hanno diverse caratteristiche in comune, il tempo di riconoscimento è ridotto rispetto al caso basale (questo è tipicamente il caso di un mammifero con un altro mammifero o un uccello con un altro uccello). Al contrario, se le

due word-form hanno solo alcune caratteristiche comuni (tipicamente, "mangia" e "dorme") ma diversi tratti distintivi oppure nessuna caratteristica in comune, il tempo di riconoscimento è più alto.

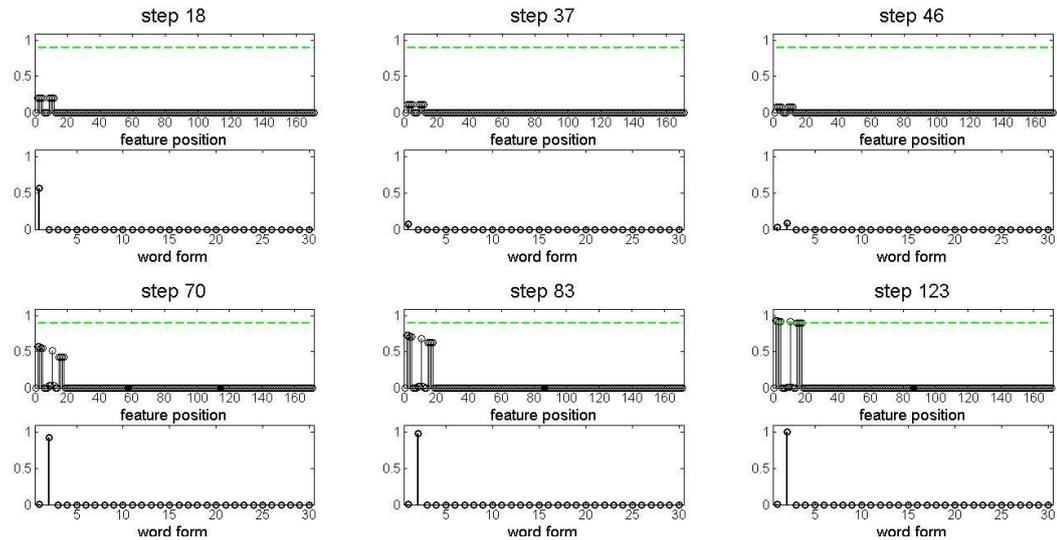


Fig.8.1: Diamo in ingresso la parola “cane” (1) per un breve numero di iterazioni (circa 15), al fine che la dinamica degli attrattori non entri in un punto di equilibrio; dopo diamo in ingresso la parola “gatto” (2) che è molto vicina semanticamente a “cane” (valori presi dal database) e calcoliamo il numero di iterazioni affinché l’ultima proprietà di “gatto” non superi la soglia posta a 0.9 (123 iterazioni).

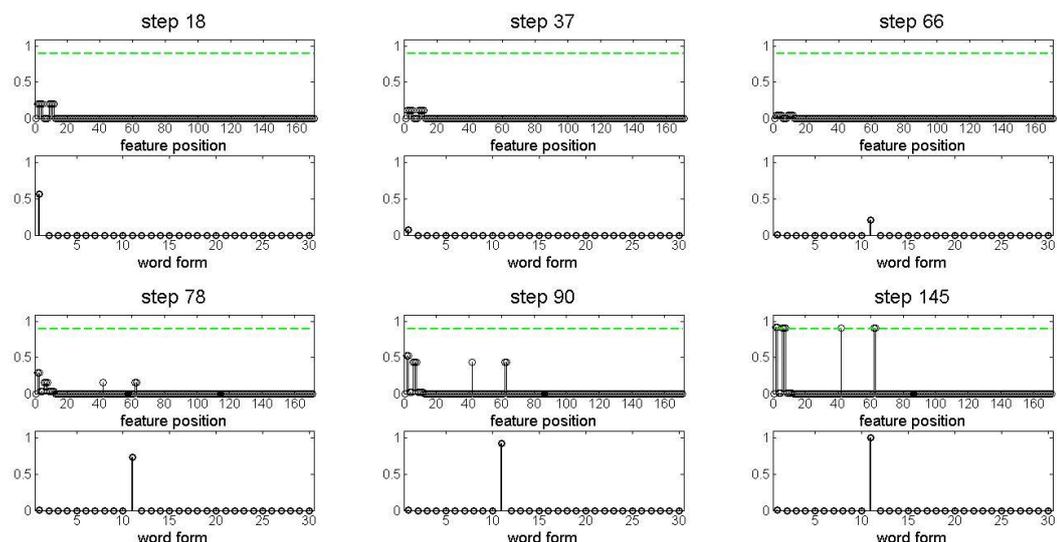


Fig.8.2 Diamo in ingresso la parola “cane”(1) per un breve numero di iterazioni; in seguito diamo in ingresso la parola “gufo” (11) che ha in comune con “cane” solo le caratteristiche “mangia” e “dorme” e vediamo quante iterazioni servono affinché l’ultima proprietà di “gufo” oltrepassi la soglia posta a 0.9 (145 iterazioni).

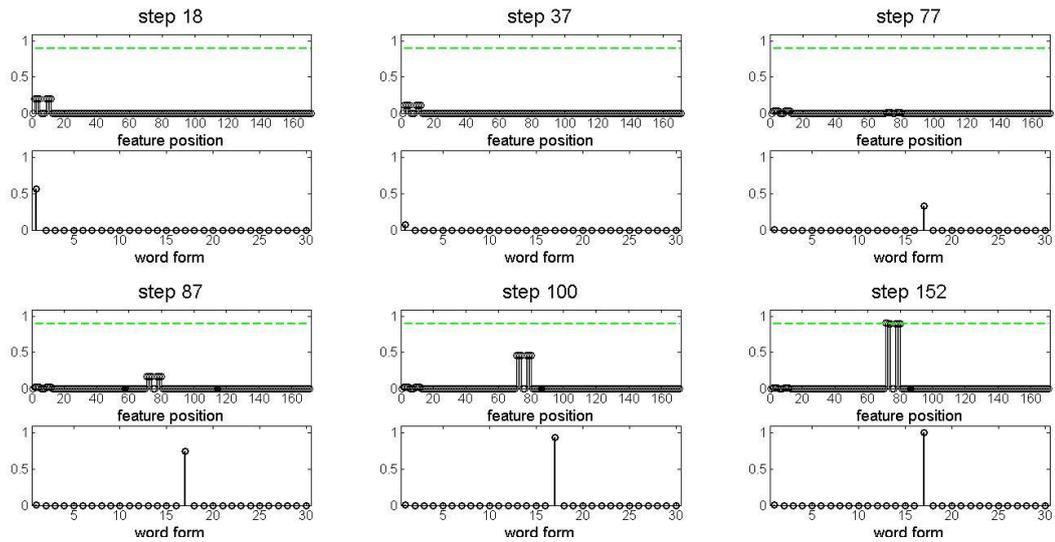


Fig.8.3. Diamo in ingresso la parola “cane” per un breve numero di iterazioni; in seguito diamo in ingresso la parola “tazzina” (17) che non ha in comune nessuna caratteristica e vediamo quante iterazioni servono affinché l’ultima proprietà di “tazzina” oltrepassi la soglia posta a 0.9 (152 iterazioni).

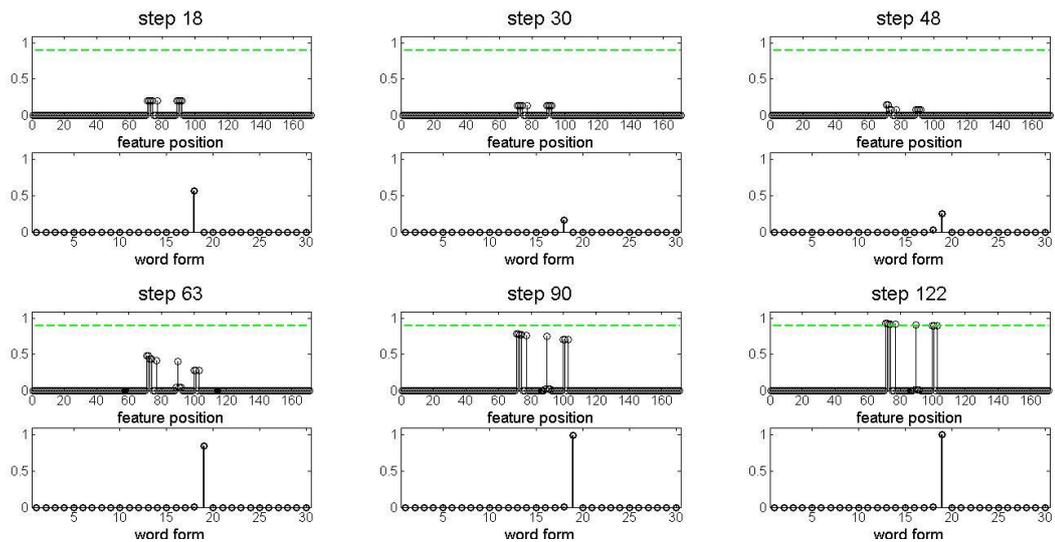


Fig.8.4: Diamo in ingresso la parola “forchetta” (18) per un breve numero di iterazioni (circa 15), al fine che la dinamica degli attrattori non entri in un punto di equilibrio; dopo diamo in ingresso la parola “cucchiaio” (19) che è molto vicina semanticamente a “forchetta” (valori presi dal database) e calcoliamo il numero di iterazioni affinché l’ultima proprietà di “cucchiaio” non superi la soglia posta a 0.9 (122 iterazioni).

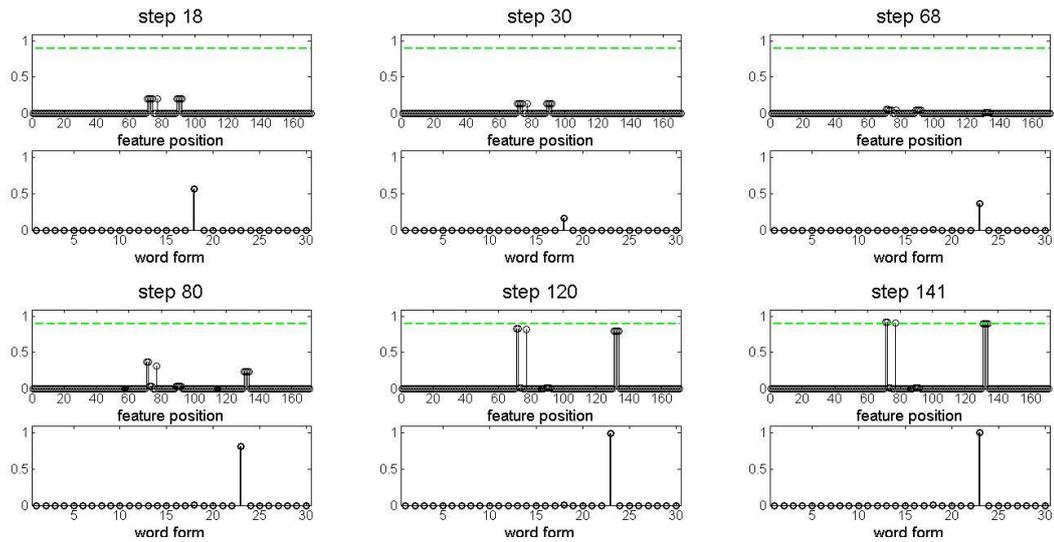


Fig.8.5: Diamo in ingresso la parola “forchetta”(18) per un breve numero di iterazioni; in seguito diamo in ingresso la parola “ombrello” (23) che ha in comune con “forchetta” solo le caratteristiche “non vivente” e “creato dall’uomo” e vediamo quante iterazioni servono affinché l’ultima proprietà di “ombrello” oltrepassi la soglia posta a 0.9 (141 iterazioni).

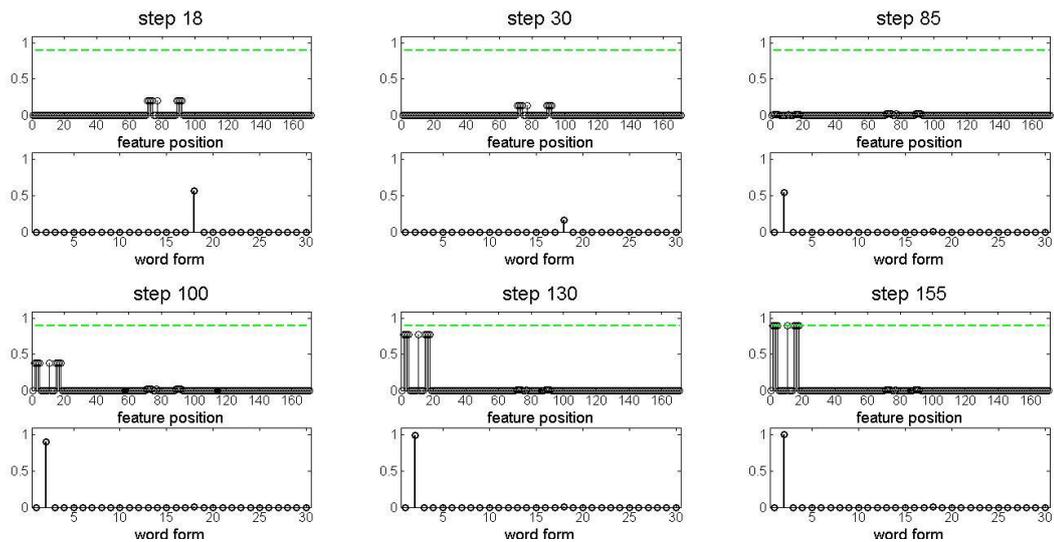


Fig.8.6: Diamo in ingresso la parola “forchetta” (18) per un breve numero di iterazioni; in seguito diamo in ingresso la parola “gatto” (2) che non ha in comune nessuna caratteristica e vediamo quante iterazioni servono affinché l’ultima proprietà di “gatto” oltrepassi la soglia posta a 0.9 (155 iterazioni).

Tra word-form che non hanno nessuna caratteristica in comune, può succedere che, ritirando la prima word-form dopo poche iterazioni (circa 15), la rete entri in un suo punto di equilibrio e richiami la word-form associata alla supercategoria (animale o oggetto). Questo è il caso, ad esempio, della parola “mucca” che data in ingresso come prima word-

form se viene seguita da una word-form che non abbia nessuna caratteristica in comune con essa, ad esempio “pentola”, entra in un punto di equilibri e richiama la word-form “animale”.

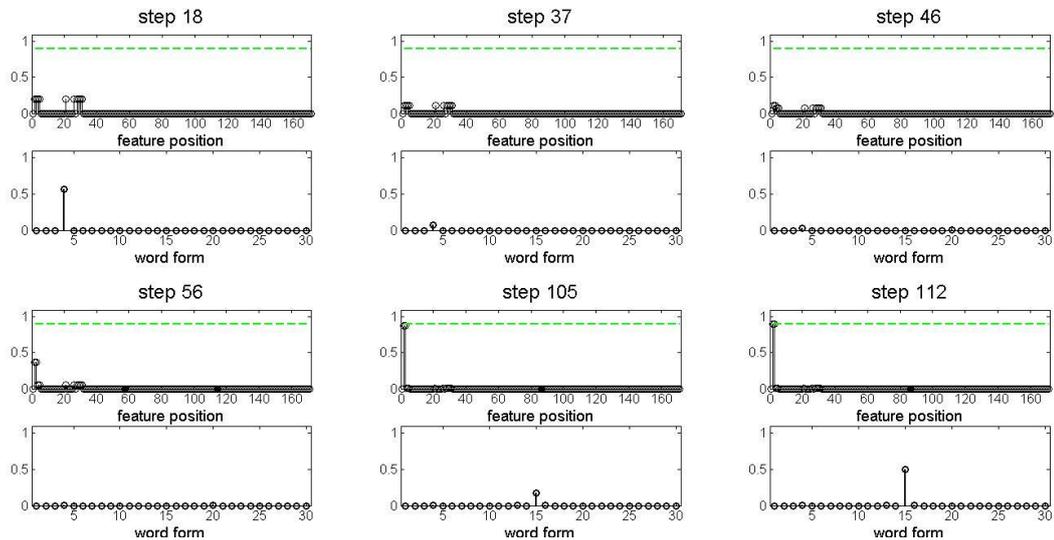


Fig.8.7: Diamo in ingresso la parola “mucca” (4) per un breve numero di iterazioni; in seguito diamo in ingresso la parola “pentola” (20) che non ha in comune nessuna caratteristica. La rete, entrato in un suo punto di equilibrio, richiama la parola “animale”(15).

Nella tabella seguente sono riportati alcuni esempi di tempi di priming nei casi in cui due word-form sono vicine semanticamente, lontane semanticamente o non hanno nessuna caratteristica in comune. I tempi sono dati dal numero di iterazioni che la rete impiega per portare tutte proprietà della seconda word-form ad un valore pari alla soglia, meno le iterazione dove la prima word-form è presentata da sola (15 iterazioni) e il numero di iterazioni di intervallo, ovvero da quando la prima word-form viene ritirata a quando viene data la seconda word-form (30 iterazioni).

Word-form	Word-form vicina semanticamente	Word-form lontana semanticamente	Word-form con nessuna proprietà in comune
	Gatto	Gufo	Tazzina
Cane	78	101	110
	Pecora	Oca	Pentola
Mucca	82	108	La rete entra in un punto di equilibrio
	Giraffa	Piccione	Martello
Zebra	81	104	115
	Gallina	Mucca	Ombrello
Oca	88	108	La rete entra in un punto di equilibrio
	Gallo	Gatto	Divano
Gallina	85	105	111
	Piccione	Mucca	Libreria
Pappagallo	77	102	112
	Cucchiaino	Ombrello	Gatto
Forchetta	77	96	110
	Tazzina	Divano	Zebra
Pentola	90	106	112
	Martello	Cucchiaino	Giraffa
Scopa	78	87	102
	Divano	Tazzina	Gallo
Poltrona	77	104	La rete entra in un punto di equilibrio
	Libreria	Martello	Pappagallo
Scrivania	88	101	La rete entra in un punto di equilibrio

CONCLUSIONI

Siamo partiti da un modello di rete neurale in grado di acquisire automaticamente il significato di concetti e categorie, sfruttando la statistica con cui si verificano le diverse proprietà, e in grado di collegare tale significato a forme verbali.

I modelli descritti in questo studio, hanno presentato dei limiti che di volta in volta sono stati affrontati e risolti. Si è addestrato il modello con una soglia post-sinaptica variabile che dipende esclusivamente dall'attività del neurone pre-sinaptico, migliorando così il concetto di salienza, diverso per le proprietà distintive e per quelle condivise. In particolare, è stato possibile evitare che una proprietà condivisa da molti membri della stessa categoria (come “vola” per gli uccelli) divenga dominante sia attribuita erroneamente all'intera categoria. Con questa assunzione il modello riesce a distinguere concetti che sono molto vicini semanticamente, ovvero che hanno molte proprietà in comune (come ad esempio divano-poltrona).

Un limite del modello è legato alle proprietà condivise tra due concetti: talvolta, se per un concetto tale proprietà risulta dominante (sulla base della frequenza di occorrenza durante l'addestramento) mentre per l'altro risulta marginale, dopo la fase di addestramento, il modello tende a considerarla dominante per entrambi. Questo però non avviene per tutte le proprietà condivise tra due concetti, ed è legato alla creazione in modo casuale delle sinapsi.

Le simulazioni svolte con il modello danneggiato sono risultate in ottimo accordo con i risultati di test condotti su pazienti neurologici: in caso di danneggiamento sinaptico, si perdono prima le proprietà distintive di un concetto e poi quelle condivise. Inoltre, il riconoscimento di una parola viene compromesso dalla perdita di una proprietà distintiva dominante,

mentre non è influenzato dalla perdita di una proprietà distintiva marginale. Nel danneggiamento a livello di neuroni, si dovrà implementare un codice che danneggi in modo random i neuroni.

Il fenomeno del priming è stato riscontrato assai bene nel modello unico. Abbiamo osservato che il tempo per richiamare le proprietà della seconda word-form è influenzato dal grado di vicinanza semantica delle due parole utilizzate durante il test: tanto maggiore è il numero proprietà in comune tanto minore sarà il tempo necessario per il riconoscimento della seconda parola.

Possiamo quindi affermare di essere riusciti a sviluppare un modello con concetti semanticamente vicini, e in grado di codificare le caratteristiche dei vari concetti come descritte nel database che ci è stato fornito dal Dipartimento di Neuropsicologia del San Raffaele di Milano. Il modello potrà essere utilizzato per simulare molti aspetti di interesse neurologico: ipotizzare danneggiamento in aree specifiche della rete semantica, per simulare la condizione dei pazienti neurologici con lesioni cerebrali; confrontare il priming semantico tra soggetti normali o affetti da patologie; analizzare test psicologici come la denominazione di concetti o l'elenco di features. Al fine di migliorare il nostro modello di memoria semantico – lessicale, sarà necessario intensificare la collaborazione con il Dipartimento di Neuropsicologia dell'ospedale San Raffaele di Milano.

Tra gli sviluppi futuri si cercherà di creare un set di parametri standard, da poter utilizzare con qualsiasi tipo di tassonomia, e cercare di rendere i modelli con gli animali più “fisiologici”, inserendo tutte le caratteristiche del database. Infine si cercherà di simulare la dipendenza della semantica di un concetto dal contesto, utilizzando un addestramento più complesso (che ad esempio faccia uso delle probabilità condizionate fra i vari concetti).

In conclusione possiamo affermare che i modelli descritti in questo lavoro di tesi hanno rispecchiato gli obiettivi che ci siamo prefissati a inizio lavoro e che forniscono uno strumento promettente per successive applicazioni in ambito neurologico.

RINGRAZIAMENTI.

Vorrei ringraziare il Prof. Mauro Ursino, per la professionalità e il tempo dedicatomi durante il percorso di tesi, senza il suo supporto e la sua guida sapiente questa tesi non esisterebbe.

Ringrazio la Dott.essa Eleonora Catricalà per la cortesia, la generosità e per il suo contributo a questo progetto.

Ringrazio mamma e papà, i primi e forse unici a credere in me e in questo percorso universitario, nonché finanziatori ufficiali di questa avventura. Grazie per tutti i sacrifici, spero di ripagarvi al più presto.

Grazie a mia sorella che percorrendo per prima questa strada mi ha tracciato il sentiero, sostenuto e aiutato. Grazie per tutte le “consulenze” e i consigli di questi anni. So che per me ci sarai sempre.

Grazie a Fabio per la sua presenza, per il sostegno e per i passaggi, ma soprattutto grazie per le volte che ci hai procurato cibo.

Grazie a Benedetta e Alice, bambine straordinarie che hanno la capacità di farmi sorridere sempre. Siete la mia isola felice.

Grazie ai miei nonni per il vostro sostegno incondizionato e per le telefonate che più di una volta mi hanno tirato su il morale.

Grazie agli zii, cugini e tutta la famiglia perché so che su di voi posso sempre contare.

Grazia a Daniela coinquilina “psicopatica”, ma amica inaspettata. Grazie per le ore di chiacchiere in cucina.

Grazie agli amici di Cesena ed Ancona, per la forza che mi avete trasmesso in questi anni.

Grazie a tutti i miei amici di Accadia, amici di sempre, so per certo che ci sarete sempre anche se non ci sentiamo tutti i giorni. Grazie perché è bello stare con voi e staccare da tutto.

Un grazie particolare va a tutte quelle persone che non hanno creduto in me, siete stati la forza per andare avanti.

BIBLIOGRAFIA

Ursino M., Cuppini C., Magosso E., Department of Electrical, Electronic and Information Engineering University of Bologna, Italy. “An integrated neural model of semantic memory, lexical retrieval and category formation, based on a distributed feature representation.” *Cognitive Neurodynamics*, 5(2):183-207, 2011.

Ursino M., Cuppini C., Magosso E., Department of Electrical, Electronic and Information Engineering University of Bologna, Italy. “The formation of categories and the representation of feature saliency: Analysis with a computational model trained with an Hebbian paradigm.” *Journal of Integrative Neuroscience*, 12(4):401-425, 2013.

Ursino M., Cuppini C., Magosso E., Department of Electrical, Electronic and Information Engineering University of Bologna, Italy. “A Neural Network for Learning the Meaning of Objects and Words from a Featural Representation.” *Neural networks*, 63:234–253,2015.

Catricalà E., Della Rosa P.A., Plebani V., Perani D., Garrard P., Cappa S.F.. “Semantic feature degradation and naming performance. Evidence from neurodegenerative disorders.” *Brain & Language*, 147 (2015) 58–65.

Catricalà E., Della Rosa P.A., Parisi L., Zippo A. G., Borsa V. M., Iadanza A., Castiglioni I., Falini A., Cappa S.F.. “Functional correlates of preserved naming performance in amnesic Mild Cognitive Impairment.” *Neuropsychologia*, 76 (2015) 136-152.

Lambon Ralph M. A., “Neurocognitive insights on conceptual knowledge and its breakdown.” *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 369 (2014) 2-11.

Lambon Ralph M. A., Jefferies E., Patterson K., Rogers T.T., “The neural and computational bases of semantic cognition.” *Nature Reviews Neuroscience*, 18 (2017) 42-55.

Binder J.R., Desai R.H., Department of Neurology, Medical College of Wisconsin, USA. “The neurobiology of semantic memory.” *Cognitive Sciences* (2011) 1-10.

Kiefer M., Pulvermuller F., “Conceptual representations in mind and brain: Theoretical developments, current evidence and future directions.” *SciVerse ScienceDirect* 48 (2012) 805-825.