

**ALMA MATER STUDIORUM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

**CAMPUS DI CESENA**

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA BIOMEDICA**

Titolo della tesi

MECCANISMI NEURALI PER LA RAPPRESENTAZIONE SEMANTICA  
E LESSICALE: MODELLO DI UNA RETE NEURALE PER  
APPRENDERE IL SIGNIFICATO DI OGGETTI E PAROLE

Tesi in

Sistemi Neurali LM

Relatore

*Prof. Mauro Ursino*

Presentata da

*Claudia Di Tommaso*

Sessione II

Anno accademico 2013/2014



# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	1
---------------------------	---

## **Capitolo 1**

1. CONCETTO DI MEMORIA.....	4
1.2 Memoria semantica e cervello : strutture e teorie.....	6
1.3 Grounded and Embodied Cognition.....	9
1.4 Concetti e categorie.....	13
1.5 Modelli connessioneisti.....	16
1.6 Regola di Hebb.....	20
1.7 Memorie etero e auto associative.....	24

## **Capitolo 2**

2. INTRODUZIONE AL MODELLO	
2.1 Modello bidimensionale.....	27
2.2 Modello unidimensionale.....	29
2.2.1 Descrizione matematica.....	31
2.2.2 Ingresso rete semantica.....	32
2.2.3 Ingresso rete lessicale.....	33
2.3 ADDESTRAMENTO RETE	
2.3.1 Equazioni del modello.....	34
2.3.2 Assegnazione parametri – apprendimento rete semantica.....	38
2.3.3 Assegnazione parametri – apprendimento rete lessicale.....	41

## **Capitolo 3**

3. DESCRIZIONE DEGLI OGGETTI.....	45
3.1 Fasi di addestramento.....	50

## **Capitolo 4**

### **4. RISULTATI E SIMULAZIONI**

4.1 Risultati Modello 1 – Fase 1.....	54
4.2 Risultati Modello 1 – Fase 2.....	73
4.3 Simulazioni di compiti di denominazione di oggetti – Modello 1.....	83
4.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole – Modello 1.....	87
4.5 Risultati Modello 2 – Fase 2.....	91
4.6 Simulazioni di compiti di denominazione di oggetti – Modello 2.....	102
4.7 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole – Modello 2.....	106

<b>DISCUSSIONE E CONCLUSIONE.....</b>	<b>112</b>
---------------------------------------	------------

<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>115</b>
----------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>
--------------------------	------------

## **INTRODUZIONE**

Il modo in cui i concetti sono organizzati e memorizzati nella nostra memoria a lungo termine è importante per molti processi nella cognizione umana, tra cui il riconoscimento di oggetti, la progettazione di azioni, il linguaggio, la memoria episodica e la formazione di idee astratte. L'organizzazione dell'informazione concettuale influisce direttamente sul nostro comportamento, dal momento che governa la modalità attraverso la quale il mondo esterno determina i nostri concetti, e il modo attraverso il quale i concetti influenzano l'azione, trasmettendo informazione tra regioni connesse del cervello. Per questo motivo, lo studio della memoria semantica attraverso modelli teorici (qualitativi o matematici) gioca un ruolo importante nelle neuroscienze cognitive. Il modello che presento in questa tesi è una rappresentazione della memoria semantica e lessicale, che sfrutta la regola di Hebb per addestrare le sinapsi. Il principio alla base di tale modello è che la semantica di un oggetto è descritta attraverso una collezione di proprietà, che sintetizzano la percezione dell'oggetto nelle diverse regioni corticali. Inoltre gli aspetti semantici e lessicali sono memorizzati in regioni separate del cervello, ma reciprocamente connesse sulla base dell'esperienza passata, secondo un meccanismo di apprendimento fisiologico. In particolare tale modello è una versione semplificata a una dimensione di un modello bidimensionale sviluppato in un lavoro di ricerca dal Prof. Ursino et al. nel 2013. L'obiettivo del lavoro è quello di indagare i meccanismi che portano alla formazione di categorie, analizzare il ruolo delle diverse proprietà nella costruzione di un concetto e le connessioni tra queste proprietà e la parola corrispondente al nome dell'oggetto, e comprendere come tali connessioni siano indotte dall'esperienza. In particolare non tutte le proprietà hanno la stessa importanza nel riconoscimento di un oggetto, né sono tutte spontaneamente evocate quando si pensa ad un concetto. Il modello incorpora due reti

neuroni, una rappresenta la rete semantica dove ogni neurone codifica per una proprietà, e una la rete lessicale dove ogni neurone codifica per una parola associata alla rappresentazione di un dato oggetto. Durante l'addestramento per ogni oggetto sono presentate alcune proprietà in input con una data probabilità: alcune sono condivise, cioè appartengono a più di un concetto e permettono la formazione di categorie, altre sono distintive, cioè sono tipiche di un concetto e consentono la rappresentazione dei membri di una categoria. Un ulteriore aspetto riguardante le proprietà, considerato nel modello, è il concetto di "saliienza": una proprietà saliente è una proprietà che viene subito in mente quando si pensa ad un concetto, ed è frequentemente presente in compiti cognitivi in cui al soggetto è chiesto di elencare le proprietà di un dato oggetto, pertanto essa gioca un ruolo centrale nella rappresentazione concettuale. Diversamente, una proprietà marginale o non saliente non viene evocata nella memoria quando si pensa ad un oggetto, ma facilita il riconoscimento dell'oggetto stesso quando è data come input al modello. La tassonomia che ho utilizzato è stata estratta da un database, e prevede 11 parole che identificano 11 animali. La saliienza è stabilita dalla frequenza con cui si verifica ciascuna proprietà. La distinzione tra proprietà condivise e distintive, e tra proprietà salienti e non salienti, è stata ottenuta mediante l'uso della regola di Hebb con una diversa soglia presinaptica e postsinaptica, producendo patterns di sinapsi asimmetriche all'interno della rete semantica (auto-associazione) e tra la rete semantica e lessicale (etero-associazione). La rete addestrata è in grado di risolvere compiti di riconoscimento e denominazione di oggetti, mantenendo una distinzione tra le categorie e i suoi membri, e fornendo un diverso ruolo per le proprietà salienti rispetto alle proprietà marginali.

Nel primo capitolo verrà definito il concetto di memoria, alcune teorie inerenti alla memoria semantica, i principali modelli matematici utilizzati e

una breve definizione della regola di Hebb e delle reti etero e auto associative; nel secondo capitolo verrà analizzato il modello matematico utilizzato per questo lavoro; nel terzo sarà presentata la tassonomia di oggetti con le relative proprietà; nel quarto si discuterà dei risultati ottenuti mostrando anche alcune prove di simulazione che riguardano compiti di denominazione di oggetti e compiti di riconoscimento di parole.

## Capitolo 1

### 1. CONCETTO DI MEMORIA

La memoria è la capacità del cervello di trarre beneficio dall'esperienza precedente. Rappresenta l'abilità cognitiva di acquisire, conservare ed utilizzare in un momento successivo, informazioni concernenti il mondo intorno a noi e la nostra esperienza in esso. Il termine apprendimento si riferisce ai processi attraverso cui vengono acquisite e conservate nuove informazioni. Il termine memoria si riferisce a informazioni o rappresentazioni interne basate su esperienze passate, ed in grado di influenzare il comportamento futuro. Una suddivisione fondamentale della memoria è basata sulla durata dell'intervallo di ritenzione, cioè su quanto a lungo l'informazione è mantenuta in mente prima che il soggetto la recuperi e la usi in qualche compito.

**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.

**Memoria a lungo termine** (LTM, Long Term Memory) : Mantiene l'informazione "off-line" per lunghi intervalli di tempo (minuti, ore, giorni o anni). In linea di principio, ha capacità illimitata, ed entrano in gioco tutti i comportamenti che si modificano.

Sebbene il senso comune suggerisca l'esistenza di un sistema di memoria unico, le neuroscienze cognitive hanno messo in evidenza sistemi di memoria multipli, localizzati in varie regioni corticali e sottocorticali del cervello. Questa concezione deriva principalmente dall'analisi delle dissociazioni funzionali dei processi di memoria osservate nei pazienti divenuti amnesici in seguito a lesione cerebrale focale. La memoria a lungo termine include due principali suddivisioni:

*Memoria dichiarativa (o esplicita)* : memoria di fatti ed eventi (dove ho parcheggiato l'auto, cosa ho mangiato stamane, ecc...) disponibile come conoscenza consapevole (proposizioni verbali). Il soggetto quindi è cosciente e in grado di esprimere ciò che ha memorizzato, riuscendo a padroneggiarne il contenuto.

*Memoria non dichiarativa (procedurale o implicita)* : Procedure motorie o associazioni stimolo-risposta (guidare la bicicletta, digitare un numero sulla tastiera del telefono) che controllano il comportamento a livello inconsapevole (non disponibile sottoforma di proposizioni verbali), quindi il soggetto non è in grado di descrivere il contenuto di ciò che ha memorizzato. Entra in gioco quando esperienze precedenti facilitano la prestazione di un compito che non richiede la rievocazione consapevole di quelle esperienze.

La memoria esplicita a sua volta è distinta in due categorie :

*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).

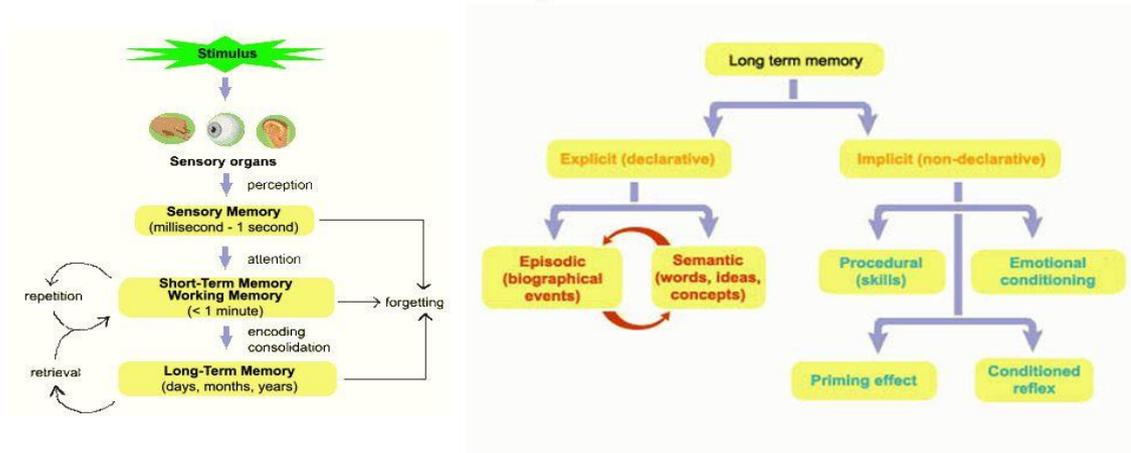
*Memoria semantica*: memoria condivisa con gli altri e indipendente dal contesto. Ad esempio il concetto di gatto è memorizzato in generale, si memorizza tutto ciò che i gatti hanno in comune, non i dettagli individuali di un gatto rispetto a un altro, quindi è una rappresentazione non contestualizzata 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.

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

In figura 1 si riporta uno schema che riassume i concetti descritti sopra :

## Classificazione delle memorie

**Memoria:** ogni cambiamento del comportamento indotto dall'esperienza



**Figura 1:** divisione della memoria a lungo termine. Nella parte destra la classificazione in memoria esplicita e implicita. Quest'ultima comprende aspetti procedurali, riflessi incondizionati, fenomeno del priming, ecc... La memoria esplicita è distinta in episodica e semantica.

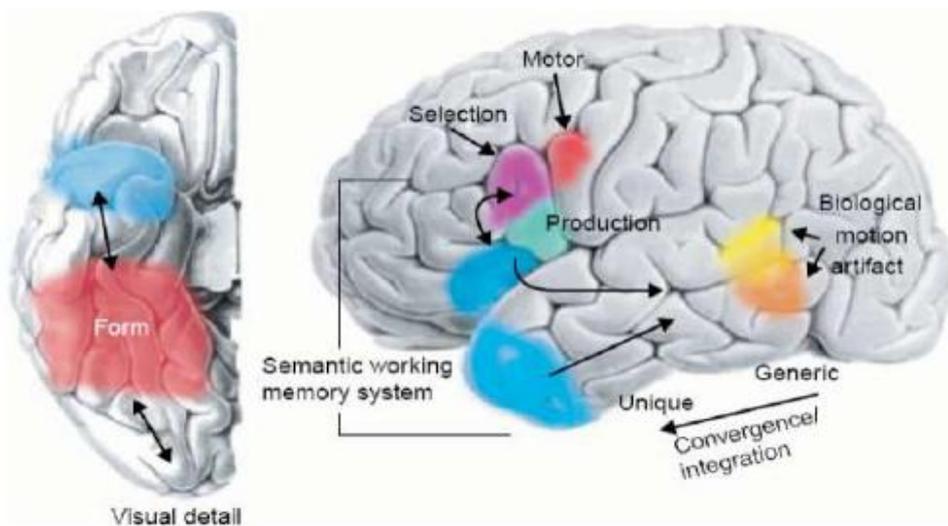
In questo lavoro di tesi si considera solo la memoria semantica, cercando di spiegare in che modo sono memorizzati gli oggetti e come si collegano in un momento successivo alle parole corrispondenti.

### 1.2 Memoria semantica e cervello: strutture e teorie

Il dominio della memoria semantica comprende informazioni riguardanti le proprietà e gli attributi dei concetti e i processi che permettono in modo efficiente di recuperare, agire e mettere queste informazioni al servizio del

pensiero e del linguaggio. *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. L’importanza della memoria semantica e della sua stretta relazione con il linguaggio, ha condotto alla formazione di alcune teorie con lo scopo di comprendere la sua organizzazione nel cervello e il comportamento di pazienti con deficit lessicali. Prima dell’utilizzo di tecniche di visualizzazione funzionale del cervello, la conoscenza delle basi neurali della memoria semantica dipendeva dallo studio di pazienti con lesioni o danni cerebrali. Tali studi hanno portato alla scoperta di almeno due regioni coinvolte : la corteccia sinistra pre-frontale (LPC) e i lobi temporali. In particolare, i pazienti con danno alla LPC avevano difficoltà nel recuperare parole in risposta ad indizi specifici (ad esempio nel dire parole che iniziano con una lettera specifica o il nome di oggetti che appartengono ad una categoria semantica specifica), seppur in assenza di afasia. Questo ha suggerito il ruolo cruciale della LPC nel recupero di informazione semantica e lessicale. I pazienti con danni ai lobi temporali, d’altra parte, non riuscivano a dare il giusto nome agli oggetti e a recuperare informazioni sulle loro specifiche caratteristiche. Quindi almeno in parte, queste informazioni sono immagazzinate nei lobi temporali. I primi studi di imaging funzionale hanno rivelato che l’elaborazione semantica si svolge in ampie aree che coinvolgono la corteccia prefrontale, i lobi parietali e posteriori temporali, e regioni ventrali e laterali della corteccia temporale. Studi sulla generazione di una parola suggeriscono che l’informazione riguardo le proprietà degli oggetti può essere immagazzinata in diverse regioni della corteccia, e mostrano che le regioni laterali e ventrali della corteccia temporale posteriore possono essere attive in base al tipo di informazione che viene richiamata. Ad esempio, se al

soggetto si chiede di pronunciare il nome di un'azione tipicamente associata ad un oggetto, si attiva la regione posteriore del giro temporale medio sinistro, adiacente al sito attivo durante la percezione del movimento; se si chiede invece di pronunciare una parola che identifica un colore, si attivano i lobi temporali ventrali, anteriori ai siti attivi durante la percezione del colore.



**Figura 1:** rappresentazione schematica della superficie ventrale (sinistra) e laterale (destra) del cervello. Le aree colorate identificano le posizioni approssimative delle regioni in cui possono essere memorizzate le informazioni semantiche sulla forma, movimento e relativi schemi motori dell'oggetto. L'informazione semantica può essere integrata nei lobi temporali, con crescente convergenza e integrazione delle informazioni procedendo dall'asse anteriore verso il posteriore, che vuol dire passare dai concetti più generali (le categorie) ai concetti più specifici (i membri delle categorie). Le regioni specifiche della corteccia parietale inferiore sinistra ed i lobi temporali possono essere coinvolti nelle operazioni di recupero, selezione ed accesso alle informazioni semantiche. [Martin, A., & Chao, L.L., 2001]

Una delle prime teorie proposte per spiegare l'organizzazione neurale della memoria semantica è la “sensory-functional theory” by Warrington e McCarthy (1987), e Warrington e Shallice (1984), la quale assume che la memoria semantica consiste di canali multipli di elaborazione all'interno dei sistemi sensoriale e motorio. In modo simile, la “hierarchical inference”

theory” (*Humphreys e Forde 2001*) assume che la memoria semantica è organizzata attraverso aree modali-specifiche per proprietà, e che i concetti derivano da una interazione tra livelli di rappresentazione semantici e percettivi. Ad esempio, la conoscenza riguardo il suono di un piano è modale uditiva, mentre la conoscenza sulla visione del piano è modale visiva, e la conoscenza sulla sensazione di suonare il piano è modale cinestesico. Un altro modello che enfatizza l’organizzazione della memoria semantica mediante proprietà è il “conceptual structure account” (*Taylor e Moss 2001*) : in questo modello le categorie emergono come conseguenza di proprietà correlate, mentre le proprietà distintive consentono la discriminazione di concetti individuali all’interno di categorie. Infine *Hurt* ha formulato un modello chiamato “hybrid model of semantic object memory” (*Hurt et al. 2002*), assumendo che le diverse regioni corticali includono non soltanto la rappresentazione sensoriale e motoria degli oggetti, ma anche gli aspetti cognitivi più alti (come il linguaggio, l’emozione, etc..). Tutti questi modelli citati sono stati essenzialmente formulati in termini qualitativi, dunque nella ricerca futura un importante obiettivo è quello di formalizzare e implementare tali teorie.

### *1.3 Grounded and Embodied cognition*

Le teorie cognitive classiche e le teorie nell’ambito dell’intelligenza artificiale assumono che i processi cognitivi siano procedure computazionali eseguite su rappresentazioni mentali simboliche o astratte, e che quindi la conoscenza sia localizzata in un sistema di memoria semantica separato dai sistemi modali del cervello adibiti alla percezione (ad esempio vista, udito), all’azione (ad esempio movimento, propriocezione), e all’introspezione (ad esempio stati mentali, affetti). Queste rappresentazioni mentali vengono definite *amodali* poiché si pensa

siano il prodotto di una traduzione da un linguaggio sensorio- motorio, cioè sensoriale, corporeo, impiegato nell'esperienza con il mondo, ad un linguaggio indipendente dalle modalità sensoriali, cioè appunto a-modale. Conseguentemente, nella versione classica, il formato con cui è conservato il significato del concetto, poniamo, “torta di mele” nel nostro cervello, non ha nulla a che fare né con l'immagine visiva della torta, né con il suo profumo, o il suo sapore. Viceversa, dati più recenti raccolti osservando pazienti con deficit neurologici e da studi di neuroimaging, hanno focalizzato l'attenzione sulle rappresentazioni neurali in diverse modalità. Questi dati supportano l'idea che la conoscenza semantica di oggetti concreti non è puramente simbolica, ma piuttosto si fonda sulla concreta esperienza. Ciò significa che la rappresentazione multimodale acquisita durante l'esperienza (come la percezione, l'azione, l'emozione) è riattivata nel cervello durante la rappresentazione dell'oggetto concreto. La conseguenza di questa idea è che il significato degli oggetti è descritto attraverso una rappresentazione distribuita, che si diffonde tra diverse aree corticali (alcune, come già citato sopra, localizzate nelle regioni laterali e ventrali della corteccia temporale) ed è una combinazione dei sistemi sensoriale, motorio ed emotivo. La “grounded cognition”, ovvero la conoscenza basata sulla realtà, respinge infatti la concezione secondo cui i simboli amodali rappresentano la conoscenza nella memoria semantica, poiché è improbabile che il cervello contenga tali simboli; se così fosse essi lavorerebbero assieme alle rappresentazioni modali per creare la conoscenza stessa [Lawrence W. Barsalou, 2008]. Alcuni resoconti della “grounded cognition” si concentrano sul ruolo del corpo nella cognizione, basandosi su risultati diffusi che evidenziano come gli stati corporei possono essere la causa degli stati cognitivi ma anche i loro effetti. La maggioranza dei resoconti riguardanti la “grounded cognition” si focalizza sui ruoli della simulazione nell'ambito della cognizione [Barsalou 1999,

*Decety & Grezes 2006*]. La simulazione consiste nella rievocazione di stati percettivi, motori e introspettivi, acquisiti durante l'esperienza con il mondo, il corpo e la mente. A seguito di un'esperienza (ad esempio riposarsi su una sedia), il cervello cattura gli stati attraverso le modalità e le integra con una rappresentazione multimodale posta in memoria (ad esempio l'azione del sedersi, le introspezioni di confort e relax). Successivamente, dopo che è stata memorizzata la conoscenza per generare una categoria (ad esempio la sedia), le rappresentazioni multimodali, catturate durante le esperienze, vengono riattivate con le loro istanze per simulare; in questo modo il cervello ha espresso la percezione, azione, introspezione ad essa associate. Secondo il precedente resoconto, la variegata collezione di meccanismi di simulazione, che mostrano un sistema di rappresentazione comune, supporta lo spettro delle attività cognitive, suggerendo che la simulazione fornisce una forma di computazione nel cervello. L'immaginario mentale costituisce l'esempio migliore tra questi meccanismi di simulazione [*Kosslyn, 1980*] ; questo tipicamente è il risultato di tentativi volontari di costruire rappresentazioni consce nella memoria di lavoro, mentre altre forme di simulazione sembrano attivarsi automaticamente e inconsciamente al di fuori della memoria di lavoro. Ulteriori ricerche sulla "grounded cognition" si focalizzano sull'interazione sociale e sull'ambiente [*Barsalou 2003, Barsalou et al. 2007, Rizzolatti & Craighero 2004, Robbins & Aydede 2007*]. Da questo punto di vista il sistema cognitivo si è evoluto a sostenere l'azione in situazioni differenti, inclusa l'interazione sociale. Questi ultimi lavori sottolineano le interazioni tra la percezione, l'azione, il corpo, l'ambiente ed altri agenti, tipicamente durante il raggiungimento di certi obiettivi.

Gli articoli precedentemente citati, fanno spesso uso del termine “embodied cognition”. Dietro tale termine c’è l’idea che la gran parte dei processi cognitivi avvenga mediante i sistemi di controllo del corpo. L’etichetta “embodied cognition” è utilizzata in ambiti disciplinari diversi che coinvolgono la psicologia, l’intelligenza artificiale, le neuroscienze, la filosofia. Ciò che accomuna la “grounded cognition” e la “embodied cognition” è sicuramente l’importanza del ruolo svolto dal corpo nella cognizione, in particolare con riferimento al nostro sistema sensoriale e motorio. L’applicazione però del concetto di “grounded” è più ampia rispetto a quello di cognizione “embodied”: ha come perno della riflessione l’idea che i processi cognitivi siano soggetti a vincoli propri del mondo fisico che includono, ma non si esauriscono, nei vincoli del sistema sensorimotorio. Secondo *Barsalou (2008)* è preferibile il concetto di “grounded” a quello di “embodied” poiché quest’ultimo potrebbe indurre all’errata assunzione che i ricercatori in questo campo considerino sempre gli stati corporei necessari per la cognizione, e che questi stati siano il fulcro di tutta la ricerca. Lo stesso Barsalou suggerisce che i processi cognitivi sono invece “grounded” in modi multipli, che includono le simulazioni, l’azione situata e, occasionalmente, anche gli stati corporei. Infatti, l’idea che i processi cognitivi siano retti da processi di simulazione, durante i quali gli stati percettivi e motori acquisiti con l’esperienza vengono riattivati al servizio della cognizione, è un’idea che non necessariamente richiede un’implementazione corporea, biologica. Questo sganciarsi dal vincolo corporeo implica dunque che la cognizione possa funzionare indipendentemente dal tipo di corpo che ha codificato l’esperienza sensorimotoria. In parziale contrasto con la visione “grounded” , *Goldman e De Vignemont (2009)* hanno recentemente sottolineato l’importanza della nozione di “embodiement” e il suo rimando al corpo, pur sottolineando la necessità di chiarire quali aspetti del corpo

vengono chiamati in causa. Esistono in effetti tre diverse interpretazioni possibili di “embodiement”. Esiste un’interpretazione anatomica, per cui le parti del corpo (e non il loro controllo cerebrale) giocano un ruolo causale nella cognizione in virtù delle loro caratteristiche anatomiche. Una seconda interpretazione coinvolge invece le azioni compiute tramite il corpo, come ad esempio la postura. E’ infatti noto che la postura, così come la conformazione facciale, hanno un’influenza profonda sul nostro modo di giudicare eventi o di ricordare situazioni [Dijkstra et al., 2006; Niedenthal, 2007]. La terza e ultima interpretazione di embodiement è quella secondo cui a giocare un ruolo importante causale per la cognizione sono le rappresentazioni mentali il cui contenuto riguarda il corpo. In ogni caso, i ricercatori che un tempo negavano il fatto che le modalità avessero a che fare con la cognizione, ora riconoscono la loro potenziale rilevanza. E’ ormai conclamata l’evidenza empirica secondo cui le modalità hanno a che fare con la cognizione. Nonostante ciò, molti dei ricercatori in psicologia cognitiva e scienze cognitive non sono ancora pronti per abbandonare completamente le teorie tradizionali. Costituirà un aspetto di fondamentale importanza per la ricerca futura valutare la visione mista della situazione.

#### *1.4 Concetti e categorie*

In questo paragrafo sono riportate alcune definizioni e considerazioni che riguardano i concetti e le categorie in particolare, tratte dal libro di *Robert Sternberg* dal titolo “*Cognitive Psychology*”. In generale, concetti e categorie possono essere classificati in diversi modi, uno di questi distingue le categorie 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. Inoltre le persone tendono ad essere in accordo sui criteri di adesione alle categorie: una tigre è sempre un mammifero, ad esempio; un coltello è sempre uno strumento usato per tagliare. 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. Un esempio potrebbe riguardare le cose di cui si ha bisogno per scrivere un articolo, e queste cambiano da persona a persona in base anche al materiale a disposizione. La visione classica delle categorie concettuali, comporta la scomposizione di un concetto in proprietà; ognuna è un elemento essenziale 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. I concetti dati per definizione non sono acquisiti con l’esperienza, ma sono costruiti arbitrariamente. Consideriamo l’esempio del concetto di “scapolo”. Uno scapolo può avere tre proprietà : essere un uomo, non essere sposato ed essere un adulto. Tutte queste tre proprietà sono necessarie per definire la categoria “scapolo”, dato che non intendiamo come scapolo un ragazzo non sposato dato che non è adulto; se è un adulto sposato è fuori dalla categoria; una donna non sposata adulta non è uno scapolo dato che non è un uomo. Quindi le tre proprietà insieme sono sufficienti per formare la categoria “scapolo”, e una persona che le possiede tutte è automaticamente definita appunto uno “scapolo”. Questo punto di vista permette di rappresentare il significato delle categorie in modo ordinato. Tuttavia ci sono alcune categorie che non si prestano facilmente ad un’analisi mediante proprietà. Una di queste è la categoria “giochi”. Infatti alcuni giochi sono divertenti e altri no; alcuni coinvolgono

più giocatori e altri soltanto un giocatore; per cui non è facile trovare delle proprietà che accomunano tutti i giochi per formare insieme la categoria, nonostante noi sappiamo il significato della parola “gioco”. 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 lo struzzo 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 uno struzzo, 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. Un risultato in accordo con quanto detto è stato ottenuto nel modello di cui parlerò in seguito, e riguarda la proprietà “vola” che non è però una defining feature. Nella tassonomia utilizzata tale proprietà non appartiene a tutti gli animali della categoria “uccelli” ma viene attribuita ad essa e alla gallina che, pur avendo le ali, non vola, quindi tale proprietà diventa una defining feature.

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. La categoria “uccello” ad esempio, ha alcune defining

features come “ha le ali”, “ha le piume”, ecc.. che sono elementi essenziali per formare la categoria; l’abilità di volare invece è una characteristic feature, che la maggior parte degli uccelli hanno, ma esistono anche uccelli che non possono volare, come lo struzzo.

Inoltre, nel riflettere sul modo in cui si pensa ai concetti e alle categorie, gli psicologi differenziano due tipi di categorie. Queste sono chiamate concetti classici e concetti sfumati. Le prime sono categorie che possono essere definite dalle defining features, come la categoria dello scapolo; le seconde sono categorie (come quella dei giochi) che non possono essere facilmente definite.

Nel modello presentato in questo lavoro di tesi si considerano due attributi che riguardano le proprietà degli oggetti usate come input, e sono la distintività e la condivisione. Entrambe sono proprietà globali, cioè dipendono da tutto il set di concetti immagazzinato nella memoria semantica. Una proprietà distintiva appartiene a un singolo concetto, ed è importante quindi per distinguere i membri di una categoria; l’idea comune è che una proprietà condivisa contribuisce alla formazione dei concetti superordinati. Il comportamento del modello è strettamente correlato al concetto di salienza, che quantifica quanto una proprietà è importante per un dato concetto, ad esempio se una proprietà spontaneamente viene in mente pensando ad un concetto o se è essenziale per il suo riconoscimento. Tale concetto ricorda l’idea delle “defining features” ma è più facilmente testabile attraverso le simulazioni del modello.

### *1.5 Modelli connessionisti*

All’inizio del capitolo ho citato alcune teorie sulla memoria semantica formulate però solo in termini qualitativi. L’implementazione di tali teorie

è avvenuta negli anni passati attraverso modelli connessionisti, i quali assumono che le informazioni sulle diverse proprietà degli oggetti sono collegate e reciprocamente interconnesse attraverso una rete di unità di elaborazione, in modo tale che l'attività in una parte della rete si propaghi alle altre parti. La caratteristica principale dei modelli connessionisti dunque, è la loro struttura a rete, ispirata all'organizzazione del sistema nervoso. La rete è composta da "unità" il cui funzionamento è ispirato al funzionamento dei neuroni : ogni unità può essere in diversi stati di attività; le unità sono connesse tra di loro e attraverso queste connessioni si influenzano; tale influenza dipende dall'attività dell'unità stessa e da caratteristiche della connessione (debole o forte, eccitatoria o inibitoria). Nel formulare un modello connessionista si scelgono alcune unità di *input*, la cui attivazione rappresenta gli stimoli esterni; altre unità rappresentano l'*output* del modello, per esempio l'attivazione di una determinata unità può essere identificata con un particolare comportamento. Unità che non rappresentano né input né output vengono dette unità "nascoste", e permettono di realizzare modelli con stati interni molto elaborati. In un *feature-based connectionist model* un concetto è rappresentato come un set distribuito di nodi attivi (che simulano gruppi neurali che codificano per le proprietà) , mentre le regolarità statistiche con cui si verifica una proprietà sono codificate nelle connessioni tra i nodi (cioè, nelle sinapsi); queste ultime sono assegnate sulla base di alcune regole di apprendimento. All'interno di questo generico contesto, ci sono molte questioni controverse sul ruolo svolto dalle diverse proprietà, sulla vera natura della loro organizzazione neurale, sulla struttura computazionale che permette alla nostra esperienza di essere tradotta in concetti e il modo in cui i concetti hanno effetto sul comportamento. 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). La corretta associazione tra le unità è rappresentata da uno stato stabile circondato da un bacino di attrazione attorno. Usando dinamiche di attrattori, Hinton riuscì a spiegare importanti proprietà della memoria semantica. In particolare, un membro di un concetto superordinato (cioè di una categoria), è rappresentato come un sottoinsieme di unità comparate con i corrispondenti membri (concetti subordinati). Le “reti di attrattori” sono una classe di modelli matematici connessionisti, nelle quali per recuperare un concetto, la rete è attratta verso un set stabile di attività, ripristinando informazioni mancanti sulla base dell’esperienza precedente. Il modello di Hinton già utilizza alcune idee usate ancora oggi nelle reti di attrattori, tuttavia il limite principale del suo lavoro è che i pesi sinaptici sono dati a priori, non basati sulla passata esperienza. In un lavoro successivo (1986) Hinton utilizza uno schema feedforward (non una rete di attrattori), con cinque strati, uno di input, due di output e due nascosti, per investigare quale rappresentazione può svilupparsi negli strati nascosti, come ad esempio la somiglianza tra concetti. Tuttavia le reti feedforward, nonostante siano uno strumento potente nell’apprendere le relazioni tra le proprietà, non sono adatte per lo studio di aspetti dinamici (come il fenomeno del priming, oppure i tempi di risposta) della nostra memoria, poiché in queste reti l’informazione si propaga tra gli strati in un solo step (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 (come nel modello originale di Hinton), cioè utilizzano sinapsi ricorrenti ( prevedono ,cioè, la ricezione del segnale da neuroni dello stesso strato o di strati superiori) per comprendere meglio gli aspetti temporali e

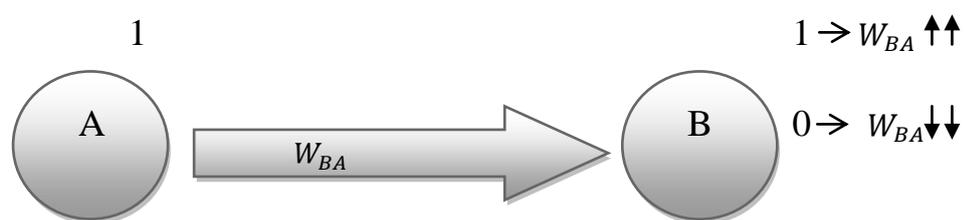
dinamici della memoria. Altri autori hanno investigato in che modo le relazioni statistiche tra le proprietà (derivanti da compiti in cui si chiede di elencare le proprietà di alcuni oggetti) possono essere codificate attraverso reti di attrattori, e hanno analizzato il ruolo di caratteristiche diverse, 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, dal momento che le sinapsi che si formano tra le parole che identificano un concetto e le proprietà distintive dello stesso concetto, sono più forti. *O'Connor et al. (2009)* hanno dimostrato che un singolo strato di nodi che codificano le proprietà possono rappresentare sia concetti superordinati (le categorie) che concetti subordinati (i membri di una categoria), senza il bisogno di una organizzazione gerarchica a priori. Questi modelli 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 back-propagation, 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 della 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.

### *1.6 Regola di Hebb*

Prima di addentrarci nella descrizione del modello utilizzato nel presente lavoro, è opportuno definire il concetto alla base della regola di Hebb e fornire una spiegazione da un punto di vista matematico. La regola è stata formulata nel 1949. In precedenza il filosofo *W. James* nel 1890 aveva formulato il seguente concetto: “Quando due processi mentali avvengono insieme o in rapida successione, il verificarsi del primo tende a propagare la sua eccitazione sull'altro, quindi fa verificare il secondo”. Tale concetto è stato ripreso da Hebb e rielaborato tramite il concetto di connessionismo (o connettivismo), secondo cui il cervello lavora connettendo tra loro stati mentali. In particolare Hebb utilizza l'espressione “cell assembly” per intendere un gruppo di neuroni che costituiscono un'unità di elaborazione. Nel libro “*The organization of the behavior*” egli descrive i processi neurofisiologici che si verificano tra stimolo e risposta nel cervello, sostenendo che uno stimolo che giunge all'organismo genera un segnale che si propaga nel sistema nervoso seguendo vie ben definite, coinvolgendo gruppi di neuroni che rispondono in maniera selettiva a certi stimoli e solo a quelli. Le singole cellule quindi, sono considerate come raggruppamenti cellulari. La combinazione delle connessioni tra questi gruppi costituisce l'algoritmo, in continua mutazione, che detta al cervello la risposta ai

diversi stimoli. Secondo quest'ottica, la percezione di un oggetto potrebbe essere spiegata come l'attività contemporanea di gruppi di neuroni interconnessi, ognuno dei quali risponde ad una caratteristica o proprietà dell'oggetto. In tal modo l'eccitazione di un determinato gruppo cellulare corrisponde alla rappresentazione mentale di quella proprietà. Hebb, inoltre, discute la possibilità che la memoria sia realizzata concretamente dalle connessioni interneurali, e che il meccanismo attraverso il quale i gruppi cellulari si formano avviene grazie all'esperienza (plasticità neurale), cioè alla possibilità di variare i pesi sinaptici; in questo modo si può dunque spiegare l'apprendimento. Collegandosi al concetto di James, la regola di Hebb afferma che : “Quando un neurone A (pre-sinaptico) ha partecipato più volte a far eccitare un neurone B (post-sinaptico) si verificano alterazioni metaboliche che modificano l'attività di A su B, cioè la forza della sinapsi che collega A e B ( $W_{BA}$ ) aumenta, e tale sinapsi si addestra sulla base della precedente relazione tra A e B”. Immaginiamo dunque di avere due neuroni, uno pre-sinaptico indicato con A e uno post-sinaptico indicato con B, e di indicare con 0 il neurone inibito e con 1 il neurone eccitato.



Consideriamo che il neurone A in passato sia stato eccitato. Se questo manda una sinapsi a B quando anche B è eccitato (possiamo eccitarlo con una sinapsi oppure con una eccitazione esterna), allora la sinapsi  $W_{BA}$

diventa più forte. Quindi in futuro, quando A è eccitato si ecciterà anche B, cioè si verificherà la stessa situazione del passato. Se invece A manda una sinapsi a B quando questo è inattivo, la sinapsi si indebolisce. Chiaramente se entrambi i neuroni sono inattivi (silenti), non c'è alcun cambiamento sinaptico.

La regola di Hebb si può descrivere matematicamente con la formula seguente:

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

Dove con  $Y_A$  viene indicata l'attività del neurone pre-sinaptico (che assume valore 0 o 1), con  $Y_B$  l'attività del neurone post-sinaptico (0 o 1),  $\Delta W_{BA}$  indica la variazione della sinapsi da A a B, e  $\gamma$  è un fattore di apprendimento che determina la velocità di apprendimento, maggiore è  $\gamma$  e più velocemente è appresa la variazione sinaptica. I quattro casi possibili sono riassunti nella tabella 1A :

$Y_A$	$Y_B$	$\Delta W_{BA}$
0	0	0
1	1	$\gamma$
1	0	0
0	1	0

**Tabella 1A:** se entrambi i neuroni sono inibiti non c'è nessuna variazione sinaptica. Se entrambi sono eccitati la sinapsi da A a B cresce di un valore  $\gamma$ . Se però uno dei due neuroni è inattivo la sinapsi è nulla.

Come si può notare dalla tabella precedente, la regola così formulata comporta soltanto un rinforzo sinaptico che si ha quando entrambi i neuroni sono attivi.

Per avere maggiore evidenza biologica la regola di Hebb è stata modificata in modo da avere anche un indebolimento sinaptico, per cui la regola diventa:

$$\Delta W_{BA} = \gamma \cdot (Y_A - a) \cdot (Y_B - a)$$

dove le attività  $Y_A$  e  $Y_B$  possono indicare non solo l'attività di due singoli neuroni, ma anche di gruppi di neuroni che si trovano in due aree diverse del cervello che comunicano tra loro, e tali attività sono confrontate con un valore "a" che prende il nome di "grado di sparsità dei neuroni", cioè indica quanti neuroni sono attivi. In genere "a" ha un valore basso (0.1), perché il cervello usa una codifica sparsa, cioè lavora solo con una piccola percentuale di neuroni eccitati in modo da ridurre il consumo metabolico.

In tabella 1B sono riassunti i quattro casi che si ottengono con questa versione modificata della regola di Hebb:

$Y_A$	$Y_B$	$\Delta W_{BA}$
0	0	$\gamma \cdot a^2$
1	1	$\gamma \cdot (1 - a)^2$
1	0	$-\gamma \cdot a \cdot (1 - a)$
0	1	$-\gamma \cdot a \cdot (1 - a)$

**Tabella 1B:** regola di Hebb modificata che produce anche indebolimento sinaptico se uno dei due neuroni ha attività pari a 0.

La regola di Hebb dunque è un algoritmo di apprendimento che non si discosta dal funzionamento naturale del cervello, poiché riproduce i fenomeni biochimici e bioelettrici alla base della plasticità neurale.

Nel modello descritto a partire dal capitolo 2, la regola di Hebb è stata ulteriormente modificata per l'apprendimento delle sinapsi tra i neuroni che codificano le proprietà dei singoli oggetti e delle sinapsi che collegano tali proprietà alle parole associate ai concetti. La regola modificata è la seguente:

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

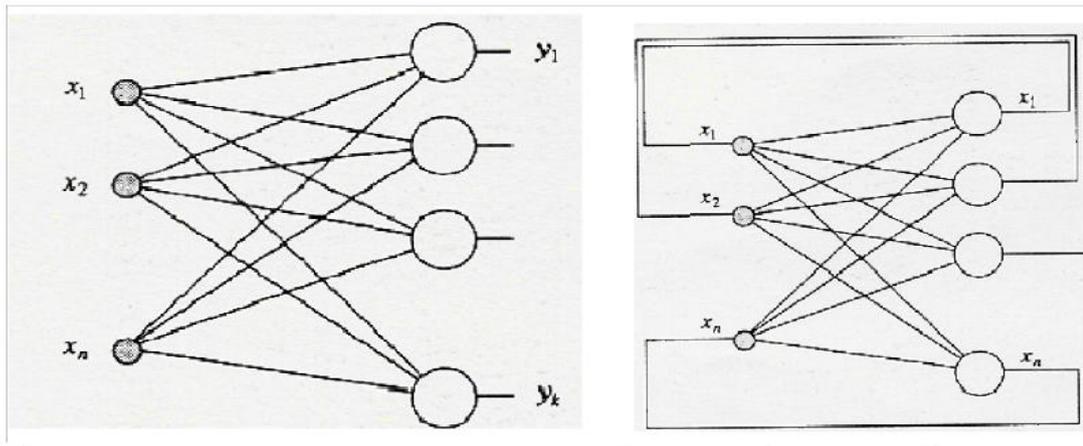
Gli apici A e B possono assumere il significato di S o L per caratterizzare una quantità che appartiene all'area semantica o all'area lessicale, rispettivamente. L'uso classico della regola di Hebb porta alla formazione di sinapsi simmetriche, ovvero i valori di soglia post e pre-sinaptica sono uguali. 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 marginali. Tutto quanto sarà chiarito nel prossimo capitolo.

### *1.7 Memorie etero e auto associative*

Concludo il capitolo 1 descrivendo brevemente, senza entrare nei dettagli matematici, le memorie etero e auto associative che sono presenti nel modello.

Il termine “associativo” deriva dalla constatazione che nella memoria umana ciò che è simile tra due elementi di memoria tende ad unirli, in modo che uno può evocare l'altro se si presentano spesso insieme.

Le memorie etero-associative connettono due strati di neuroni, uno di input e uno di output, e sono realizzate mediante reti feed-forward, reti in cui i neuroni ricevono l'input dall'esterno e attraverso sinapsi lo inviano ai neuroni dello strato successivo, quindi l'informazione viaggia in avanti. La memorizzazione dei pattern di ingresso e uscita avviene mediante una regola di apprendimento, in questo caso la regola di Hebb. Le reti etero-associative sono quelle reti in cui sono richieste in ingresso informazioni complete per rievocare altre informazioni memorizzate. Le memorie auto-associative sono invece realizzate mediante reti feedback. Le reti auto-associative hanno la caratteristica di essere reti essenzialmente a un solo strato, dove tutti i neuroni sono sia di input che di output, ed ogni neurone alimenta se stesso come ognuno degli altri ad esso vicini (si mette in relazione un pattern con se stesso). Queste reti sono definite anche "attractor network": ogni episodio è memorizzato come punto di equilibrio stabile con un circostante bacino di attrazione, ed è evocato sulla base del contenuto, cioè dando alla rete dopo l'addestramento un episodio simile a quello memorizzato, oppure una parte dell'episodio stesso; la rete viene messa nel bacino di attrazione e dinamicamente ricalcola l'episodio. Le auto - associative sono quelle reti capaci di ricordare situazioni complete pur disponendo in input di informazioni incomplete, trovando la situazione di equilibrio tra le unità e le loro connessioni. In figura 1.4 è riportata una rappresentazione schematica di entrambe le reti :



**Figura 1.4 :** rete etero-associativa a sinistra con due strati di neuroni. I neuroni  $X_i$  di input sono collegati ai neuroni  $Y_i$  di output mediante connessioni feed-forward. Rete auto-associativa a destra. I pattern di ingresso e uscita sono gli stessi, lo strato a monte serve solo a capire che il valore in uscita è retroazionato su tutta la rete.

Nel modello presentato nell'attuale lavoro, all'interno dell'area semantica le sinapsi tra i neuroni realizzano un'auto-associazione; le connessioni invece tra la rete semantica e lessicale realizzano una doppia etero-associazione: i neuroni dell'area semantica mandano sinapsi eccitatorie o inibitorie alle unità lessicali, queste ultime mandano sinapsi solo eccitatorie alle unità semantiche.

## Capitolo 2

### 2. INTRODUZIONE AL MODELLO

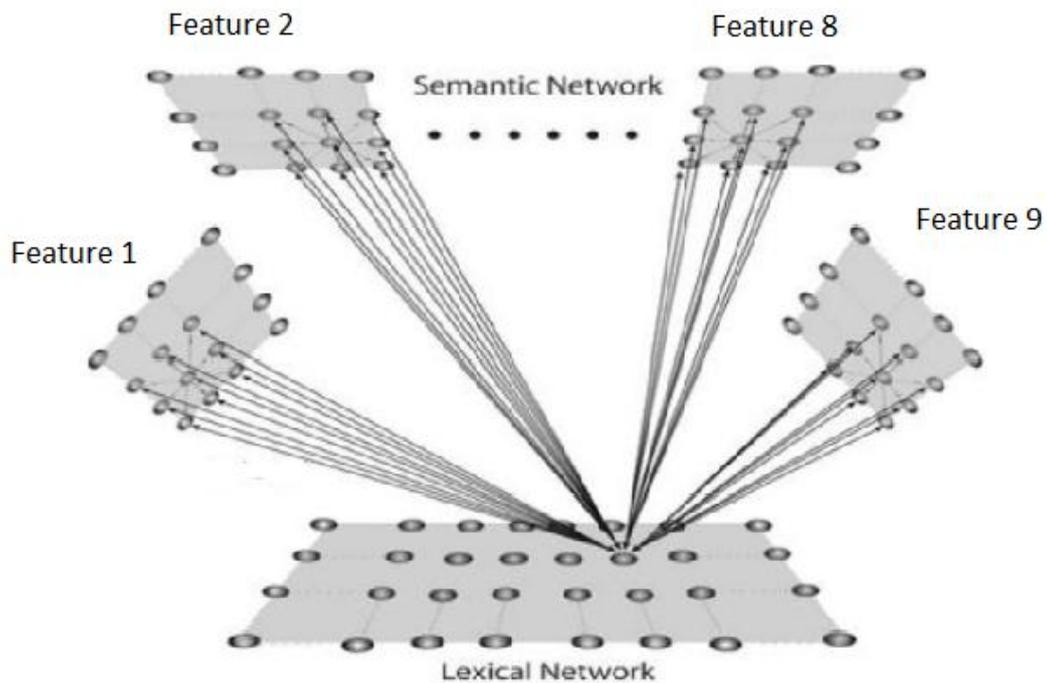
Il modello che ho utilizzato in questo lavoro di tesi è una versione semplificata monodimensionale di un modello a due dimensioni sviluppato nel lavoro di ricerca dal Prof. Ursino nel 2013, in particolare la versione più recente dei precedenti (*Mauro Ursino et al., 2010, 2011, 2012*). Descriverò quindi dapprima il modello a cui ho fatto riferimento, solo dal punto di vista qualitativo, per poi descrivere nei dettagli il modello a una dimensione anche attraverso una descrizione matematica.

#### *2.1 Modello bidimensionale*

Il modello incorpora due reti di neuroni, come illustrato in figura 1. La prima rappresenta la “rete semantica” ed è dedicata alla descrizione di oggetti rappresentati come una collezione di features (proprietà) senso-motorie. Si assume che queste proprietà si diffondano lungo diverse aree corticali (sia nella corteccia sensoriale che nella corteccia motoria, e probabilmente anche in altre aree come quelle emotive) e siano organizzate topologicamente per implementare un principio di somiglianza. Ogni area codifica per una proprietà, e i neuroni prossimali si eccitano reciprocamente e inibiscono quelli più distali attraverso sinapsi laterali eccitatorie e inibitorie all’interno della stessa area. Grazie alla organizzazione topologica, l’attività dei neuroni si diffonde anche alle unità prossimali producendo una bolla di attivazione. Questo significa che le proprietà simili localizzate nelle posizioni prossimali della rete, diventano moderatamente attive insieme. Inoltre una proprietà può ricevere sinapsi da altre proprietà in diverse aree realizzando una memoria auto-associativa.

Il secondo strato di neuroni rappresenta la “rete lessicale”. Ogni unità computazionale in questa rete codifica per una word-form ( forma verbale o

lemma), che è associata con una rappresentazione di un oggetto individuale. Le sinapsi tra la rete semantica e la rete lessicale realizzano una memoria etero-associativa.



**Figura 1:** struttura generale del modello in cui c'è una rete semantica e una rete lessicale. La rete semantica consiste di 9 aree distinte (i quadrati in alto), ognuna composta da 20x20 neuroni. I neuroni di una stessa area si eccitano e inibiscono tra di loro attraverso sinapsi laterali, e si connettono ai neuroni di altre aree attraverso sinapsi eccitatorie. L'area lessicale consiste di 400 neuroni, ognuno riceve sinapsi eccitatorie e inibitorie dalle unità semantiche. Queste ultime ricevono solo sinapsi eccitatorie dalle unità lessicali.

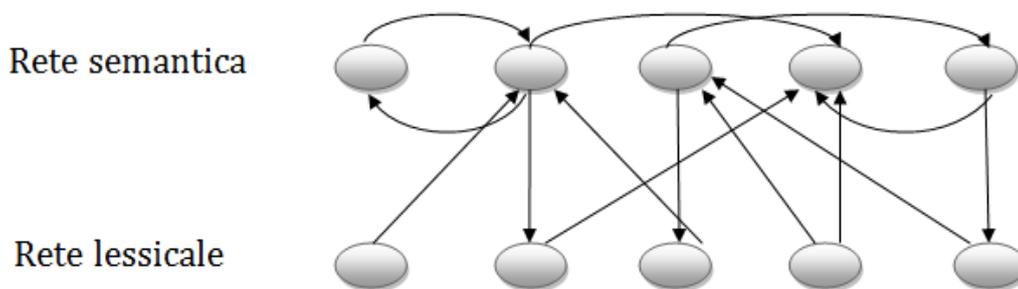
Ogni unità neurale è descritta da due indici ( $ij$  o  $hk$ ) che rappresentano la posizione all'interno della rete. Di conseguenza una sinapsi tra due unità neurali ha quattro indici (per esempio  $ij, hk$ ) i primi due rappresentano la posizione del neurone post-sinaptico, gli altri due la posizione del neurone pre-sinaptico. La rete semantica ha 9 aree, ognuna codifica per una proprietà (quindi la rete può gestire massimo 9 proprietà per ogni oggetto)

e ogni area è descritta da una matrice 20x20 di unità neurali (400 unità in totale). Per semplicità queste nove aree sono codificate attraverso una singola matrice semantica che consiste di 60x60 unità ( $i = 1,2,\dots,60$ ;  $j = 1,2,\dots,60$ ). La rete lessicale comprende una singola area con 400 unità ( $i = 1,2,\dots,20$ ;  $j = 1,2,\dots,20$ ).

## *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 figura 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  $M=43$  (42 è il numero di proprietà utilizzate nell'attuale lavoro, ma sono numerate dalla posizione 2), 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  $M \times M$ . 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  $ML$  ( $ML=15$  sono le parole utilizzate). Non si considera più l'organizzazione topologica delle aree e quindi si trascurano le sinapsi laterali che implementano il principio di somiglianza. 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. I risultati che illustrerò successivamente mostrano che le categorie possono essere formate dall'esperienza passata, usando la regola di Hebb con una diversa soglia per l'attività pre e post-sinaptica. Inoltre 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.



**Figura 2:** schema del modello semplificato unidimensionale. La rete semantica (primo strato) consiste di 43 neuroni, ogni unità semantica è connessa alle altre dello stesso strato attraverso sinapsi eccitatorie. La rete lessicale (secondo strato) consiste di 15 neuroni, ogni unità lessicale può ricevere sinapsi eccitatorie e inibitorie dalle unità semantiche, mentre le unità semantiche possono ricevere solo sinapsi eccitatorie dai neuroni lessicali.

### 2.2.1 Descrizione matematica

Le equazioni matematiche sono le stesse del modello bidimensionale, tranne per il termine relativo alle sinapsi laterali che manca non essendo più considerate tali sinapsi nel presente lavoro. L'attività di ogni unità nella rete semantica e lessicale (indicata con  $X_j$ ) è descritta dalla seguente equazione differenziale:

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

dove l'apice A indica la rete (semantica o lessicale),  $\tau^A$  è la costante di tempo, che determina la velocità di risposta allo stimolo, e  $H^A(u^A(t))$  è una funzione di attivazione sigmoideale che modula gli stimoli in ingresso al neurone, ed è descritta dalla seguente equazione :

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

dove p è un parametro che stabilisce la pendenza centrale della sigmoide, e  $\phi$  stabilisce la sua posizione centrale. Questa equazione assume convenzionalmente che l'attività massima sia 1 (cioè, le attività di tutti i neuroni sono normalizzate rispetto al valore massimo).

L'equazione 1 è di primo grado ed è risolta con il metodo di Eulero, per cui la soluzione all'istante  $t+\Delta t$  sarà funzione dell'attività del neurone all'istante t precedente.  $u_j^A(t)$  è l'ingresso globale che raggiunge il neurone j-esimo, e ha una diversa espressione nella rete semantica e nella rete lessicale.

### 2.2.2 Ingresso rete semantica

L'ingresso ai neuroni nella rete semantica (apice A = S) viene calcolato come la somma di tre contributi :

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

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

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

dove j indica la posizione del neurone postsinaptico (target), e i la posizione del neurone presinaptico, e la somma si estende a tutti i neuroni presinaptici nella rete semantica. Il simbolo  $W_{j,i}^{SS}$  rappresenta le sinapsi eccitatorie nella rete semantica che realizzano una memoria auto-associativa e sono soggette ad apprendimento.

Il termine  $C_j^{SL}$  è un termine di cross-rete, ed è calcolato come segue:

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

Dove  $x_i^L$  rappresenta l'attività del neurone i nell'area lessicale e i simboli  $W_{j,i}^{SL}$  sono le sinapsi che vanno dall'area lessicale all'area semantica, e formano una matrice di dimensione MxML.

### 2.2.3 Ingresso rete lessicale

L'ingresso all'unità neurale lessicale in posizione  $j$  ( $u_j^L(t)$  in Eq. 1) comprende solo due termini, quindi:

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

$I_j^L(t)$  è l'input prodotto da una stimolazione linguistica esterna, proveniente 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'input dovuto alle connessioni sinaptiche dalla rete semantica. Le sinapsi dalla semantica alla rete lessicale includono sia un termine eccitatorio che un termine inibitorio ( $W_{j,i}^{LS}$  e  $V_{j,i}^{LS}$  rispettivamente) che sono addestrati in modo diverso. Questo comporta una strategia inibitoria-eccitatoria più complessa. Infatti si vuole che una word-form nell'area lessicale sia eccitata quando tutte le sue corrispondenti proprietà salienti sono presenti nello scenario semantico, ma sia inibita quando è presente una proprietà che non appartiene all'oggetto (non accettiamo un "gatto che abbaia" oppure "una mucca che vola"). In altre parole, le proprietà che non sono coinvolte nella rappresentazione di un dato oggetto inibiscono la corrispondente unità lessicale.)

Quindi, si può scrivere:

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

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 RETE

### 2.3.1 Equazioni del modello

All'inizio dell'addestramento tutte le sinapsi eccitatorie tra i neuroni nella rete semantica ( $W_{j,i}^{SS}$ ) e tutte le sinapsi eccitatorie e inibitorie tra i neuroni della rete semantica e i neuroni della rete lessicale ( $W_{j,i}^{SL}$ ,  $W_{j,i}^{LS}$ ,  $V_{j,i}^{LS}$ ) sono fissate a zero. L'addestramento è diviso in due fasi distinte, in quanto si immagina che prima l'uomo impari a riconoscere gli oggetti, e soltanto in un secondo momento apprenda la parola corrispondente, per cui la memorizzazione di oggetti e parole non avviene contemporaneamente.

1. Durante la prima fase, gli oggetti individuali (descritti da una parte delle loro features in accordo con una data statistica) sono presentati alla rete uno alla volta, e le sinapsi che collegano le diverse features (cioè le sinapsi  $W_{j,i}^{SS}$  in Eq.4) sono apprese. Le proprietà hanno una diversa frequenza di occorrenza, che stabilisce la loro salienza.
2. Nella seconda fase di addestramento, gli oggetti (ancora descritti da una parte delle loro features attraverso la stessa statistica come nella prima fase), sono presentati alla rete insieme alla corrispondente word-form nell'area lessicale, e le sinapsi che collegano le reti lessicale e semantica ( $W_{j,i}^{SL}$  in Eq.5 e  $W_{j,i}^{LS}$  e  $V_{j,i}^{LS}$  in Eq.7) sono apprese.

In questo lavoro di tesi ho aggiunto anche una variante di addestramento per la seconda fase, che spiegherò in seguito.

Tutte le sinapsi eccitatorie (cioè,  $W_{j,i}^{SS}$  in Eq. 4,  $W_{j,i}^{SL}$  in Eq.5, e  $W_{j,i}^{LS}$  in Eq.7) sono addestrate con la regola di Hebb, che modifica il peso sinaptico sulla base della correlazione tra l'attività presinaptica e postsinaptica. Per tenere in considerazione non solo il potenziamento a lungo termine ma anche il depotenziamento a lungo termine, si assume che queste attività siano comparate con una soglia. In questo modo, un livello basso di attività

di uno dei due neuroni (presinaptico o postsinaptico) causa un indebolimento della forza sinaptica se accompagnato da un livello alto di attività dell'altro neurone (postsinaptico o presinaptico). Utilizzando il significato dei simboli riportati sopra, si può scrivere:

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

Dove gli apici AB possono assumere il significato SS, SL o LS dipendentemente dalla particolare sinapsi,  $\Delta W_{j,i}^{AB}$  rappresenta la variazione della forza delle sinapsi, a causa delle attività presinaptiche e postsinaptiche,  $\theta_{post}^{AB}$  e  $\theta_{pre}^{AB}$  sono soglie per le attività postsinaptiche e presinaptiche,  $\gamma^{AB}$  denota un fattore di apprendimento,  $x_j^A$  è l'attività del neurone postsinaptico, e  $x_i^B$  è l'attività del neurone presinaptico.

La regola di Hebb però ha bisogno di alcuni aggiustamenti per essere davvero fisiologica. Per prima cosa, quando entrambe le attività presinaptiche e postsinaptiche sono basse, non dovrebbe verificarsi nessuna variazione di peso sinaptico. Quindi:

$$\text{se } x_j^A < \theta_{post}^{AB} \text{ e } x_i^B < \theta_{pre}^{AB} \quad \text{allora} \quad \Delta W_{j,i}^{AB} = 0 \quad (9)$$

In secondo luogo, una sinapsi non può diventare negativa (altrimenti l'eccitazione sarebbe convertita in inibizione, che non è fisiologicamente accettabile. Quindi, nel calcolare il nuovo valore della sinapsi si ha che :

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

dove il simbolo  $\leftarrow$  significa 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 ultimo, le sinapsi non possono

crescere all'infinito, ma devono raggiungere un livello massimo di saturazione. Per le sinapsi eccitatorie tra i neuroni dell'area semantica è stata usata una saturazione analoga a quella del modello di riferimento bidimensionale, ovvero, quando le sinapsi si avvicinano al loro valore massimo (indicato con  $W_{max}^{SS}$ ), progressivamente si riduce il rateo di apprendimento  $\gamma^{SS}$ . Per cui si ha:

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

Dove  $\gamma_0^{SS}$  è il massimo (cioè il rateo quando la sinapsi è zero).

Per le sinapsi eccitatorie dalla rete semantica alla rete lessicale ( $W_{j,i}^{LS}$  in Eq. 7) c'è da considerare un ulteriore aspetto. Si vuole che una unità lessicale che codifica per una word-form sia eccitata, se e solo se tutte le sue corrispondenti proprietà salienti sono attive nella rappresentazione semantica, indipendentemente dal numero delle proprietà salienti (ovvero, alcune parole possono avere tre proprietà salienti, altre possono averne cinque, e così via. Nel primo caso tre neuroni dell'area semantica sono sufficienti per eccitare la word-form; nel secondo caso sono necessari cinque). 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  $W_{j,i}^{LS}$ :

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

$$W_{j,i}^{LS} \left\{ \begin{array}{ll} (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) & \text{se } \Gamma_j^{LS} \leq \Gamma_{max} \\ (W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) U(W_{j,i}^{LS} + \Delta W_{j,i}^{LS}) \cdot \Gamma_{max} / \Gamma_j^{LS} & \text{se } \Gamma_j^{LS} > \Gamma_{max} \end{array} \right. \quad (13)$$

dove il simbolo  $\Gamma_j^{LS}$  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  $\Gamma_{max}$  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). Per le sinapsi eccitatorie  $W_{j,i}^{SL}$  invece è stato dato un valore fisso a  $\gamma^{SL}$ , per cui il rateo di apprendimento non si riduce progressivamente con la saturazione, ma ogni singola sinapsi satura di colpo e arriva al massimo al valore 1. Riassumendo, le sinapsi eccitatorie sono tutte addestrate dalla stessa legge tranne per il fatto che le  $W_{j,i}^{LS}$  si bloccano sulla somma, le  $W_{j,i}^{SL}$  ad un valore fisso. Le sinapsi inibitorie in Eq.7 sono addestrate con una regola anti-Hebbiana, cioè si indeboliscono quando sia l'attività presinaptica che quella postsinaptica sono sopra soglia, e si rinforzano quando le attività sono invece entrambe negativamente correlate (cioè, attività di un neurone sopra soglia e attività dell'altro neurone sotto soglia). Quindi si ha:

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

Certamente anche queste sinapsi non possono cambiare segno (cioè, una sinapsi inibitoria non può essere convertita in una sinapsi eccitatoria), quindi vale in modo analogo l'equazione 10. 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).

La regola di Hebb è applicata nelle condizioni finali di stazionarietà, circa 20ms dopo la presentazione dell'input, per evitare effetti dovuti alla variazione di attività durante il transitorio.

### 2.3.2 Assegnazione parametri-apprendimento rete semantica

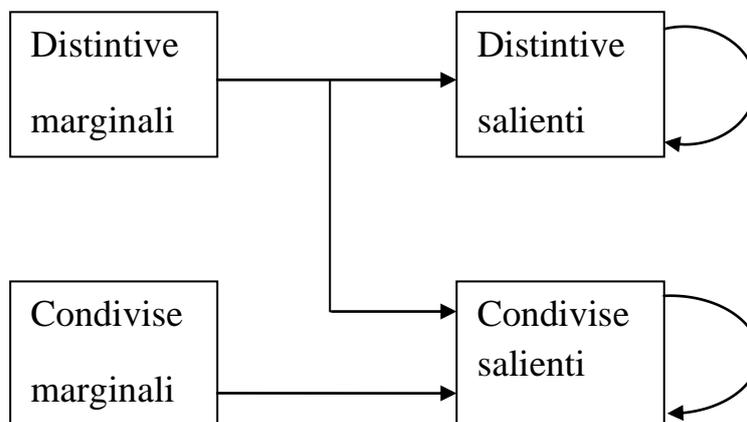
Per realizzare un corretto processo di addestramento, è necessario assegnare valori opportuni alle soglie presinaptica e postsinaptica nella regola di Hebb, tenendo conto del fatto che una proprietà è *condivisa* se appartiene a più di un oggetto, è *distintiva* se appartiene solamente a un oggetto. Inoltre, una proprietà è *saliente* se è spontaneamente evocata nel riconoscimento di un oggetto, al contrario è *marginale* (o non saliente).

L'idea di base è che per avere una chiara distinzione tra proprietà condivise e proprietà distintive, e tra proprietà salienti e non salienti, le sinapsi all'interno della rete semantica devono essere asimmetriche (cioè devono avere un peso diverso); questo significa che le soglie per l'attività presinaptica e l'attività postsinaptica devono essere diverse. Un primo aspetto riguarda la capacità di una proprietà di evocare le proprietà rimanenti dello stesso oggetto; questo aspetto può essere analizzato nel modello osservando le sinapsi uscenti da un neurone. Un secondo aspetto legato al primo, è la possibilità che una proprietà sia evocata dalle altre, e può essere analizzato osservando le sinapsi che entrano in un neurone e quindi in ingresso a una proprietà. Le proprietà salienti dovrebbero essere evocate da tutte le altre proprietà dell'oggetto (sia salienti che marginali), quindi dovrebbero ricevere forti sinapsi in ingresso. Al contrario, esse dovrebbero inviare forti sinapsi in uscita solo alle altre proprietà salienti.

Le proprietà non salienti non dovrebbero essere evocate dalle altre proprietà dell'oggetto, (quindi ricevono deboli sinapsi in ingresso) ma favoriscono la ricostruzione dell'oggetto (quindi inviano forti sinapsi alle proprietà salienti). Le proprietà condivise da diversi oggetti in una categoria dovrebbero evocare tutte le altre proprietà salienti nella categoria, ma non dovrebbero richiamare le proprietà distintive dei membri individuali (ad esempio, la proprietà "ha una coda" dovrebbe evocare le

proprietà comuni alla categoria “animale”, come “ha gli occhi”, ma non dovrebbe evocare le proprietà dei membri individuali “cane”, ”gatto”, ecc..., come “abbaia”, “miagola”, ecc...). Una proprietà distintiva dovrebbe evocare non solo le altre proprietà distintive salienti dello stesso oggetto, ma anche le proprietà salienti condivise (ad esempio, la proprietà “abbaia” dovrebbe evocare tutte le proprietà salienti di un cane, incluse “ha una coda”, “ha due occhi”, condivise con altri animali).

Le precedenti condizioni sono riassunte nello schema riportato in basso :



Questo particolare comportamento delle sinapsi semantiche può essere realizzato assumendo che la soglia per l’attività post-sinaptica sia alta (nel modello ho assunto  $\theta_{post}^{SS} = 0.7$ ), mentre la soglia per l’attività pre-sinaptica è bassa (ho assunto  $\theta_{pre}^{SS} = 0.05$ ), un valore leggermente superiore allo zero è stato scelto per evitare che una residua attività neurale possa causare un rinforzo sinaptico indesiderato. Questa scelta comporta le seguenti conseguenze:

- i. se entrambi i neuroni presinaptico e postsinaptico sono attivi (attività vicina a 1), le sinapsi si rinforzano (si ha  $\Delta W_{j,i}^{SS} = \gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.3 \cdot 0.95$ , quindi  $\Delta W_{j,i}^{SS} = \gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.285$ )
- ii. se il neurone postsinaptico è inibito (attività vicina a 0) mentre il neurone presinaptico è alto (attività vicina a 1), la sinapsi si indebolisce (si ha  $\Delta W_{j,i}^{SS} = -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.3 \cdot 0.95 = -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.665$ ). Questa situazione si verifica alla sinapsi in uscita da una proprietà condivisa verso una proprietà distintiva, quando la proprietà condivisa appare in un concetto che non contiene quella particolare proprietà distintiva (per esempio la proprietà “ha una coda” verso la proprietà “miagola”, quando si osserva un cane). La stessa situazione si verifica per la sinapsi in uscita da una proprietà saliente verso una proprietà non saliente, quando la prima è percepita e l'altra no. Quindi, dopo un sufficiente addestramento, a causa del verificarsi statistico delle proprietà, le proprietà condivise manderanno deboli sinapsi verso le proprietà distintive, e le proprietà salienti manderanno deboli sinapsi verso le proprietà non salienti.
- iii. Se il neurone postsinaptico è eccitato (attività vicina a 1) e il neurone presinaptico è inibito (attività vicina a 0), la sinapsi mostra solo un moderato indebolimento (si ha  $\Delta W_{j,i}^{SS} = -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.3 \cdot 0.05 = -\gamma_{j,i}^{SS} \cdot 0.015$ ). Questa situazione si verifica alla sinapsi in uscita da una proprietà non saliente verso una proprietà saliente, quando la proprietà non saliente non è percepita (l'attività presinaptica è spesso vicina a zero, dato che le proprietà non salienti sono spesso assenti). La conseguenza è che una proprietà distintiva non saliente continua ad inviare sinapsi forti verso tutte le proprietà salienti, con uno scarso

indebolimento. La stessa situazione si verifica se si considera una sinapsi da una qualsiasi proprietà distintiva verso una proprietà saliente condivisa.

E' importante sottolineare che nel modello si considera la frequenza di occorrenza come l'unico aspetto che caratterizza la salienza, anche se ciò potrebbe essere una limitazione. Inoltre il livello di salienza (cioè, se una proprietà è saliente o meno dipendentemente dalla sua frequenza) è strettamente legato al valore usato per la soglia post-sinaptica  $\theta_{post}^{SS}$ . Più è alta questa soglia e maggiore è il livello di frequenza richiesto affinché una proprietà sia saliente. Il valore di saturazione per le sinapsi semantiche  $W_{j,i}^{SS}$ , è stato assunto tale 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 della pecora, naturalmente solo quelle salienti.

### 2.3.3 Assegnazione parametri-apprendimento rete lessicale

Le sinapsi eccitatorie dalle unità lessicali alle unità semantiche ( $W_{j,i}^{SL}$ ) sono state addestrate usando una soglia presinaptica bassa ( $\theta_{pre}^{SL}=0.05$ ) e una soglia alta postsinaptica ( $\theta_{post}^{SL}=0.7$ ). Ciò significa che:

- i) se il neurone presinaptico e quello postsinaptico sono entrambi attivi (attività vicina a 1) la sinapsi si rinforza, ( $\Delta W_{j,i}^{SL} = \gamma_{j,i}^{SL} \cdot 0.95 \cdot 0.3 = \gamma_{j,i}^{SL} \cdot 0.285$ )
- ii) se il neurone presinaptico non è attivo (attività vicina a 0) e il neurone postsinaptico ha attività vicina a 1, la sinapsi mostra un piccolo indebolimento, ( $\Delta W_{j,i}^{SL} = -\gamma_{j,i}^{SL} \cdot 0.05 \cdot 0.3 = -\gamma_{j,i}^{SL} \cdot 0.015$ ). Questa situazione si verifica ad esempio quando c'è la proprietà "mangia" con

la parola “cane” se stiamo osservando un cane, ma non c’è la parola “orso”.

iii) se il neurone presinaptico è attivo (attività vicina a 1) e il neurone postsinaptico ha attività vicina a 0, la sinapsi si indebolisce, ( $\Delta W_{j,i}^{SL} = -\gamma_{j,i}^{SL} \cdot 0.95 \cdot 0.7 = -\gamma_{j,i}^{SL} \cdot 0.665$ ). Questa situazione si verifica quando la word-form c’è ma la proprietà non è percepita, dunque non è saliente.

Per le sinapsi eccitatorie dalle proprietà semantiche alle parole,  $W_{j,i}^{LS}$  sono state usate soglie uguali ma con ruolo opposto, cioè ( $\theta_{pre}^{LS} = 0.7$  e  $\theta_{post}^{LS} = 0.05$ ) in modo che la soglia per l’unità semantica sia sempre 0.7 indipendentemente se il neurone è presinaptico o postsinaptico. Quindi, tutte le soglie alte sono a 0.7, quelle basse a 0.05. Per le sinapsi che entrano nelle proprietà (cioè dalle parole alle proprietà)  $\theta_{post}^{SL}$  deve essere alto in accordo con  $\theta_{post}^{SS}$  in modo che le parole evocino solo le proprietà salienti, ma anche per le sinapsi dalle proprietà verso le parole  $\theta_{post}^{LS}$  deve essere sempre 0.7, in modo che se una proprietà si è verificata più del 70% delle volte eccita la parola corrispondente. Le sinapsi inibitorie verso le word-forms,  $V_{j,i}^{LS}$ , sono addestrate con una regola anti-Hebbiana, per cui è adottata una strategia un po’ diversa. Infatti una proprietà che non partecipa mai alla semantica di un oggetto (indicato ad esempio con oggetto 1) ma partecipa frequentemente alla semantica di un altro oggetto (chiamato ad esempio oggetto 2) deve inibire la parola corrispondente all’oggetto 1; una tale situazione può verificarsi nel caso ad esempio della proprietà “miagola” che dovrebbe inibire la parola “cane”, oppure “bela” che dovrebbe inibire la parola “mucca”. Queste sinapsi sono addestrate ogni volta che la proprietà è attiva nell’area semantica (che rappresenta l’unità presinaptica, quindi si assume  $\rho_{pre}^{LS} = 0$  in Eq. 14). La soglia per l’attività

postsinaptica (che è la word-form) ha un valore basso ( $\rho_{post}^{LS} = 0.05$ ). In questo modo, se la proprietà e la corrispondente parola sono attive insieme, la sinapsi inibitoria si riduce molto ( $\Delta V_{j,i}^{LS} = -\gamma_{inib}^{LS} \cdot 0.95$  in Eq.14). Ogni volta che una proprietà è presente senza la corrispondente parola, la sinapsi inibitoria ha un modesto aumento ( $\Delta V_{j,i}^{LS} = +\gamma_{inib}^{LS} \cdot 0.05$ , quindi tali sinapsi crescono molto debolmente). Il risultato finale è che le proprietà che partecipano, seppur non frequentemente, alla rappresentazione di un oggetto (quindi anche quelle non salienti) non inibiscono la parola corrispondente. Solo le proprietà che non partecipano alla semantica dell'oggetto 1 ma a quella di altri oggetti inibiscono la parola corrispondente all'oggetto 1. Il livello di saturazione per la somma delle sinapsi eccitatorie dalla semantica verso una parola,  $\Gamma_{max}$  in Eq. 13, è stata scelta in modo che quando tutte le proprietà salienti sono presenti per un dato oggetto, l'attività del neurone  $x_j^L$  che rappresenta la parola corrispondente, è vicina a 1, ma è sufficiente che manchi una sola delle proprietà salienti per inibire completamente la parola.

Nelle tabelle presentate in basso, sono riportati tutti i valori numerici dei parametri che ho utilizzato, sia per la rete semantica che per la rete lessicale:

Significato	Simbolo	Valore
Costante di tempo	$\tau$	3ms
Pendenza sigmoide	$p$	40
Posizione sigmoide	$\varphi$	0.55
Soglia post-sinaptica SS	$\theta_{post}^{SS}$	0.7
Soglia pre-sinaptica SS	$\theta_{pre}^{SS}$	0.05
Rateo apprendimento SS	$\gamma_0$	0.1
Massima forza sinaptica SS	$W_{max}$	0.8

**Tabella 1:** valori dei parametri per l'addestramento della rete semantica

Significato	Simbolo	Valore
Costante di tempo	$\tau$	3ms
Pendenza sigmoide	$p$	40
Posizione sigmoide	$\varphi$	0.55
Soglia post-sinaptica SL	$\theta_{post}^{SL}$	0.7
Soglia pre-sinaptica SL	$\theta_{pre}^{SL}$	0.05
Rateo apprendimento SL (fisso)	$\gamma^{SL}$	0.01
Massima forza sinaptica SL	$W_{max}^{SL}$	1
Soglia post-sinaptica LS	$\theta_{post}^{LS}$	0.05
Soglia pre-sinaptica LS	$\theta_{pre}^{LS}$	0.7
Rateo apprendimento LS (fisso)	$\gamma^{LS}$	0.01
Somma massima delle sinapsi LS	$\Gamma_{max}$	1
Soglia post-sinaptica LS	$\rho_{post}$	0.05
Soglia pre-sinaptica LS	$\rho_{pre}$	0
Rateo apprendimento LS (fisso)	$\gamma_{inib}^{LS}$	0.05
Massima forza sinaptica LS	$V_{max}^{LS}$	1

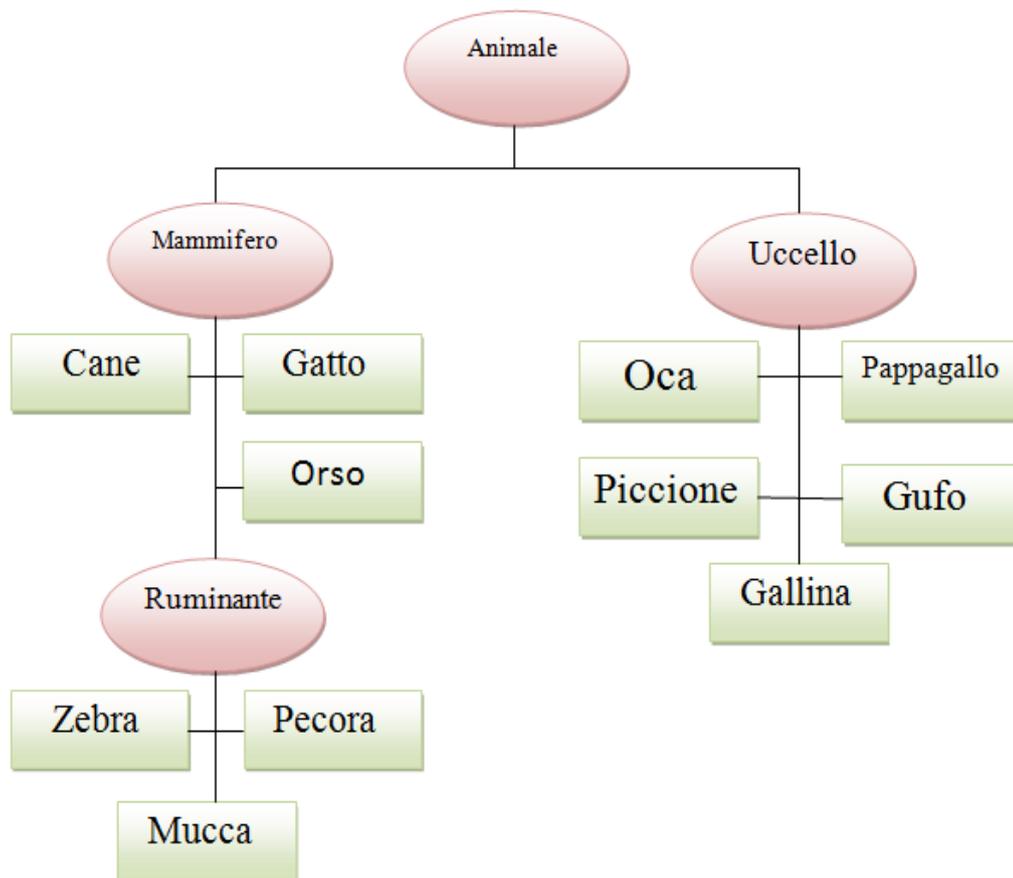
**Tabella 2:** valori dei parametri per l'addestramento della rete lessicale

## Capitolo 3

### 3. DESCRIZIONE DEGLI OGGETTI

Tutte le simulazioni presentate in questo lavoro sono state fatte usando la tassonomia di oggetti descritta in figura 3 e nelle tabelle 3 e 4. Tale tassonomia include 11 oggetti, in particolare 11 animali che hanno un numero di proprietà compreso tra 8 e 9. Alcune di queste proprietà sono condivise, e consentono la formazione di categorie, altre invece sono proprietà tipiche di ciascun animale, quindi sono proprietà distintive che appartengono solo a quel tipo di animale. Tutti gli oggetti hanno in comune le proprietà “*mangia*” e “*dorme*”, che determinano la formazione della categoria “*animale*” . Da questa categoria derivano tre sottocategorie, quella del “*mammifero*” , quella dell’ “*uccello*” e quella del “*ruminante*”. Gli animali che appartengono alla categoria del mammifero hanno in comune (oltre a “*mangia*” e “*dorme*”) le proprietà “*ha quattro zampe*”, “*ha il pelo*”, quindi queste due proprietà formano la sottocategoria “*mammifero*”; gli animali invece che appartengono alla categoria dell’ uccello hanno in comune (sempre oltre a “*mangia*” e “*dorme*”) le proprietà “*ha le piume*”, “*ha due zampe*”, “*ha le ali*”, quindi queste tre proprietà formano la sottocategoria “*uccello*”; gli animali che appartengono alla categoria del ruminante hanno in comune (oltre a “*mangia*” e “*dorme*”) le stesse della categoria mammifero ma in più la proprietà “*mangia erba*”, per cui questa proprietà da sola forma la sottocategoria “*ruminante*”. Ogni animale poi ha anche delle proprietà distintive che lo caratterizzano e lo distinguono dagli altri animali (vedere tabella 3 e 4). Le proprietà hanno una diversa salienza, che in questo modello è determinata unicamente dalla frequenza con cui si verificano (cioè, la frequenza con cui una proprietà è presente come input quando un oggetto è usato durante la fase di addestramento per essere appreso). Questa frequenza, comparata con la

soglia usata nella regola di addestramento semantico  $\theta_{post}^{SS}$ , determina se una proprietà può essere considerata saliente oppure no. Nella tabella 4 sono riportate le parole che descrivono le categorie e gli oggetti, con la corrispondente posizione.



**Figura 3:** tassonomia di oggetti usati nelle simulazioni del modello. Ci sono 11 oggetti distinti, alcuni hanno 8 altri 9 proprietà. In particolare ci sono 3 mammiferi, 3 mammiferi/ruminanti e 5 uccelli.

**Tabella 3:** nella prima colonna sono riportate tutte le proprietà utilizzate per descrivere gli oggetti. Nella seconda colonna ci sono le posizioni relative a ciascuna unità semantica che codifica per una proprietà. Nella terza colonna sono riportate le percentuali di occorrenza di ogni proprietà. Le proprietà comuni come la 2, 3, ecc...hanno la stessa percentuale per tutti gli animali.

<b>Proprietà</b>	<b>Posizione</b>	<b>Percentuale</b>
Mangia	2	80%
Dorme	3	80%
Ha il pelo	4	80%
Scodinzola	5	90%
Domestico	6	80%
Fa le fusa	7	90%
Va in letargo	8	70%
Pericoloso	9	80%
Ripete i suoni	10	80%
Vola	11	80%
Ha il becco arancione	12	80%
Ha il becco grosso	13	80%
Ha le piume	14	80%
Starnazza	15	80%
Ha due zampe	16	90%
Si tosa	17	80%
Bela	18	80%
Mangia erba	19	80%
Muggisce	20	80%
Ha le corna	21	80%
Miagola	22	80%
Ha quattro zampe	23	80%
Polare	24	50%
Abbaia	25	80%
Ha la cresta	26	80%
Cova le uova	27	80%
Vive nel pollaio	28	70%
Ha le ali	29	80%
Ha il becco adunco	30	80%
Porta sfortuna	31	50%
Tuba	32	80%
Muove la testa avanti e dietro	33	80%
Affettuoso	34	80%
Caccia i topi	35	50%
Si ricava il latte	36	80%
Si ricava la lana	37	80%
Selvatico	38	50%
Ha le strisce bianche e nere	39	80%
Simbolo della Juve	40	50%
Caccia di notte	41	70%
Simile al cavallo	42	80%
Si usava per mandare messaggi	43	50%

**Tabella 3**

Oggetto/Parola	Proprietà	Posizione
<i>Cane</i>	2, 3, 4, 23, 5, 6, 34, 25	1
<i>Gatto</i>	2, 3, 4, 23, 6, 7, 22, 35	2
<i>Orso</i>	2, 3, 4, 23, 9, 8, 24, 38	3
<i>Pecora</i>	2, 3, 4, 23, 19, 17, 18, 37	4
<i>Mucca</i>	2, 3, 4, 23, 19, 20, 21, 36	5
<i>Pappagallo</i>	2, 3, 14, 16, 29, 11, 10, 13	6
<i>Oca</i>	2, 3, 14, 16, 29, 11, 15, 12	7
<i>Gallina</i>	2, 3, 14, 16, 29, 26, 27, 28	8
<i>Gufo</i>	2, 3, 14, 16, 29, 11, 30, 31, 41	9
<i>Piccione</i>	2, 3, 14, 16, 29, 11, 32, 33, 43	10
<i>Zebra</i>	2, 3, 4, 23, 19, 39, 40, 38, 42	11
<i>Mammifero</i>	2, 3, 4, 23	12
<i>Uccello</i>	2, 3, 14, 16, 29	13
<i>Animale</i>	2, 3	14
<i>Ruminante</i>	2, 3, 4, 19, 23	15

**Tabella 4:** oggetti usati nella tassonomia. Nella prima colonna sono riportati i nomi degli oggetti e quindi la parola associata ad ogni unità lessicale. Nella seconda colonna ci sono tutte le proprietà associate ad ogni oggetto riportate sottoforma di posizione all'interno della rete semantica. Nella terza colonna sono riportate le posizioni corrispondenti a ciascuna parola nella rete lessicale.

Tutte le proprietà che sono state utilizzate nel modello e riportate nelle tabelle precedenti, sono state prese da un database fornito dal Dipartimento di Neuropsicologia dell'ospedale San Raffaele di Milano ( Prof. Stefano Cappa, Dott.ssa Eleonora Catricalà). La figura 4 riporta un'immagine di parte del database, nel quale le informazioni sono divise per colonne: in particolare nella prima colonna sono riportati diversi concetti, quindi oggetti, con la parola corrispondente a ciascun oggetto (ad esempio "aereo", "cane", "gatto"...). Ogni oggetto è attribuito ad una categoria, ad esempio l'aereo è attribuito alla categoria "veicoli", il cane è attribuito alla categoria "animali", ecc.. Nelle altre colonne sono riportati i risultati di una elaborazione statistica a seguito di un task cognitivo in cui a un gruppo di soggetti sani è stato chiesto di elencare le proprietà di alcuni oggetti

appartenenti a categorie diverse. Nella colonna “etichette” le features sono classificate in forma (è grande, è allungato,...) enciclopedica ( nel caso dell’aereo: atterra, decolla ...), funzionale ( si usa per viaggiare, nel caso di un veicolo), suono ( è rumoroso) e così via.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	CONCETTO	FEATURES	L/NL	categoria	ETICHETTE	sens/non sens	DOMINANZA	NORM	FREQ tot	Salienza	DISTINTIVITA' Nin	RILEVANZA SEMANTICA	frequenza per categoria	distintività_garrard
2	aereo	atterra	NL	veicoli	enciclopedica	ns	5	2	=MEDIA(G2:H2)	41	26,7877600230904	2	0,4	
3	aereo	decolla	NL	veicoli	enciclopedica	ns	4	2	=MEDIA(G3:H3)	41	21,4302080184723	2	0,4	
4	aereo	è allungato	NL	veicoli	forma	s	6	13	=MEDIA(G4:H4)	6,30769230769231	15,942673718862	1	0,2	
5	aereo	è di metallo	NL	veicoli	forma	s	5	18	=MEDIA(G5:H5)	4,55555555555556	10,9381350158789	4	0,8	
6	aereo	è grande	NL	veicoli	forma	s	7	16	=MEDIA(G6:H6)	5,125	16,5028640323266	2	0,4	
7	aereo	è pilotato	NL	veicoli	funzionale	ns	8	2	=MEDIA(G7:H7)	41	42,8604160369447	2	0,4	
8	aereo	è rumoroso	NL	veicoli	suono	s	3	5	=MEDIA(I11:G8:H	16,4	12,1068717281922	3	0,6	
9	aereo	è un mezzo di trasporto	NL	veicoli	tassonomico	ns	20	6	=MEDIA(G9:H9)	13,6666666666667	75,4517900779385	5	1	
10	aereo	è usato per viaggiare	NL	veicoli	funzionale	ns	3	2	=MEDIA(G10:H1	41	16,0726560138543	2	0,4	
11	aereo	è veloce	NL	veicoli	enciclopedica	ns	6	6	=MEDIA(G11:H11	13,6666666666667	22,6355370233816	1	0,2	
12	aereo	ha due ali	NL	veicoli	forma	s	4	2	=MEDIA(G12:H12	41	21,4302080184723	1	0,2	
13	aereo	ha gli assistenti di bordo	NL	veicoli	enciclopedica	ns	3	1	=MEDIA(G13:H13	82	19,0726560138543	1	0,2	
14	aereo	ha i finestrini	NL	veicoli	forma	s	5	2	=MEDIA(G14:H14	41	26,7877600230904	2	0,4	
15	aereo	ha il carrello	NL	veicoli	forma	s	3	1	=MEDIA(G15:H15	82	19,0726560138543	1	0,2	
16	aereo	ha il motore a reazione	NL	veicoli	enciclopedica	s	3	1	=MEDIA(G16:H16	82	19,0726560138543	1	0,2	
17	aereo	ha il motoreli	NL	veicoli	forma	s	12	4	=MEDIA(G17:H17	20,5	52,290624055417	4	0,8	
18	aereo	ha i sedileli	NL	veicoli	forma	s	3	2	=MEDIA(G18:H18	41	16,0726560138543	2	0,4	
19	aereo	ha l'elica	NL	veicoli	forma	s	3	2	=MEDIA(G19:H19	41	16,0726560138543	2	0,4	
20	aereo	ha la cabina	NL	veicoli	forma	s	9	2	=MEDIA(G20:H20	41	48,2179680415628	2	0,4	
21	aereo	ha la cabina di pilotaggio	NL	veicoli	forma	s	9	2	=MEDIA(G21:H21	41	48,2179680415628	2	0,4	
22	aereo	ha la coda	NL	veicoli	forma	s	3	19	=MEDIA(G22:H22	4,31578947368421	6,32887347352349	1	0,2	
23	aereo	ha le ali	NL	veicoli	forma	s	20	7	=MEDIA(G23:H23	11,7142857142857	71,0039416512096	1	0,2	
24	aereo	ha le ruote	NL	veicoli	forma	s	3	4	=MEDIA(G24:H24	20,5	13,0726560138543	4	0,8	
25	aereo	si trova in aereoporto	NL	veicoli	enciclopedica	ns	8	1	=MEDIA(G25:H25	82	50,8604160369447	1	0,2	
26	aereo	trasporta	NL	veicoli	funzionale	ns	10	8	=MEDIA(G26:H26	10,25	33,5755200461808	5	1	

Figura 5 : database

Nelle colonne successive sono riportati dei descrittori semantici che permettono di attribuire un punteggio a ciascuna proprietà. Alcuni di questi descrittori sono :

**Distintività:** valore di una proprietà che dipende dal numero di concetti nei quali la proprietà è presente. Tale valore è un indice di quanto una proprietà è importante per identificare e distinguere un certo concetto da quelli simili.

**Dominanza:** Quantifica la frequenza con cui è prodotta una certa proprietà. Indica la percentuale di partecipanti che elencano una certa proprietà per un concetto.

**Rilevanza semantica:** Quantifica l'importanza di una proprietà. E' una combinazione non lineare della distintività e della dominanza.

**Frequenza totale:** frequenza con la quale una proprietà è presente negli oggetti. Se una proprietà è distintiva la frequenza totale è molto bassa.

**Accessibilità:** Identifica in che ordine viene elencata una proprietà, quindi una proprietà nominata prima di un'altra è più importante per un dato concetto.

In questa fase del lavoro le percentuali con cui si verifica ciascuna proprietà sono state assegnate in modo che la maggior parte di esse risultino salienti (frequenza superiore a 0.7), mentre solo ad alcune proprietà, ritenute meno caratteristiche, (ad esempio “porta sfortuna” per il gufo, o “simbolo della Juventus” per la zebra) sono state assegnate frequenze basse.

### *3.1 Fasi di addestramento*

Tutte le sinapsi sono addestrate partendo da valori iniziali nulli. Come già introdotto nel paragrafo 2.4 , le fasi di addestramento sono due e non avvengono contemporaneamente, perché si ipotizza che l'uomo apprenda prima la rappresentazione multi-modale di un oggetto e poi la colleghi alla parola corrispondente. Durante la *fase 1* la rete semantica riceve in ingresso gli 11 oggetti (animali) con alcune proprietà scelte per ciascuno dal database. La rete lessicale invece non riceve alcun input (cioè,  $I_j^L(t) = 0$  in Eq. 6 ). Questa è la fase in cui l'uomo ha un'esperienza diretta con l'oggetto, interagisce con esso e apprende la sua semantica, senza ancora un'associazione con il relativo termine lessicale. Se una proprietà non è percepita allora  $I_j^S(t) = 0$ , altrimenti  $I_j^S(t) = 1$ ; la probabilità di verificarsi è

riportata in tabella 3. La fase 1 consiste di 300 prove consecutive. Durante ogni prova tutti gli oggetti sono presentati separatamente in un ordine casuale, quindi ogni oggetto compare una volta in ogni prova, e le sinapsi  $W_{j,i}^{SS}$  sono addestrate con le Eq. 8-11. La frequenza con cui si verifica una proprietà non è fissa, cioè se una proprietà si verifica un 80% delle volte, significa che considerando 300 prove è presente in media 240 volte su 300, ma essendo un verificarsi statistico questo numero potrebbe oscillare e quindi la proprietà potrebbe verificarsi magari 235 oppure 245 volte. Alla fine dell'addestramento le sinapsi nell'area semantica hanno raggiunto un valore che è mantenuto fisso durante tutta la fase 2.

Nella *fase 2* di addestramento, sono presentate come input alla rete lessicale le parole, insieme con le corrispondenti proprietà nella rete semantica, quindi le sinapsi che collegano gli aspetti lessicali e semantici (cioè,  $W_{j,i}^{SL}$ ,  $W_{j,i}^{LS}$ ,  $V_{j,i}^{SL}$  in Eq. 5 e 7) sono addestrate attraverso le Eq. 8-10, 12-14. Questa fase consiste di 400 prove per il modello 1, 300 prove per il modello 2, ma stavolta durante ogni prova sono presentati tutti gli oggetti con le loro proprietà insieme alla parola associata alla rappresentazione individuale (ad esempio viene presentato l'oggetto "cane" con le proprietà "abbaia", "scodinzola" ecc.. insieme alla parola "cane"). Oltre agli oggetti sono presentate anche le quattro categorie individualmente, ognuna caratterizzata dalle rispettive proprietà insieme alla parola corrispondente (ad esempio viene data la categoria "animale" con le proprietà "mangia" e "dorme"). In base alla tassonomia che ho utilizzato, in totale durante ogni prova sono presentate 15 parole, 11 sono associate agli oggetti e 4 alle categorie. Ora l'input  $I_j^L(t) = 1$  eccita le unità lessicali. Nel far apprendere le categorie, in questa fase si ipotizza una sorta di addestramento scolastico, come se ci fosse un maestro che insegna a un bambino che ad esempio

l'animale ha le proprietà "mangia" e "dorme", e il bambino si costruisce un'idea del concetto di animale.

Le proprietà nella rete semantica sono ancora presentate in modo casuale, in accordo con le percentuali di occorrenza riportate in tabella 3.

Nel modello ho adottato anche una variante di addestramento che riguarda soltanto la fase 2, ovvero, durante ogni prova gli oggetti sono sempre presentati con le loro proprietà, insieme però non solo alla parola che corrisponde al nome degli oggetti, ma anche alla parola che corrisponde alla categoria a cui appartengono gli oggetti (ad esempio se viene presentato il cane, saranno date oltre che la parola "cane" anche la parola "mammifero" e la parola "animale"). In questo caso possiamo immaginare un maestro che insegna al bambino il concetto di "mammifero" non elencandone le proprietà ma facendogli vedere direttamente degli esempi di mammiferi, tra cui il cane, il gatto, ecc... e il bambino da solo deve essere in grado di estrarre le proprietà comuni alla categoria del mammifero. Per cui la parola mammifero dovrebbe infine risultare legata soltanto con le proprietà "mangia", "dorme", "ha il pelo", "ha 4 zampe".

Per questo motivo, d'ora in avanti indicherò con **modello 1** il modello in cui nella fase 2 di addestramento sono presentati gli oggetti con le loro proprietà insieme alla parola corrispondente al nome dell'oggetto; con **modello 2** il modello in cui nella fase 2 sono presentati gli oggetti con le loro proprietà insieme a tre o quattro parole contemporaneamente, una specifica il nome dell'oggetto e due (o tre nel caso della categoria "ruminante") specificano la categoria a cui appartiene. E' importante sottolineare che sia per il modello 1 che per il modello 2 la fase 1 di addestramento è la stessa.

Alla fine delle fasi 1 e 2 le proprietà salienti di ciascun oggetto sono evocate automaticamente anche in assenza di una di queste, 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.

## Capitolo 4

### 4.RISULTATI E SIMULAZIONI

In questo capitolo presento inizialmente i patterns di sinapsi ottenuti in seguito alle fasi di addestramento, mostrando il diverso ruolo delle proprietà condivise rispetto alle proprietà distintive, e delle proprietà salienti rispetto alle proprietà marginali. Successivamente saranno presentate alcune simulazioni riguardo compiti cognitivi di riconoscimento di oggetti e parole. I risultati sono divisi per modello 1 e modello 2, quindi dapprima descriverò i risultati ottenuti per il modello 1, e dopo quelli relativi al modello 2 in cui ho adottato una variante di addestramento per la fase 2.

#### 4.1 Risultati Modello 1- Fase 1

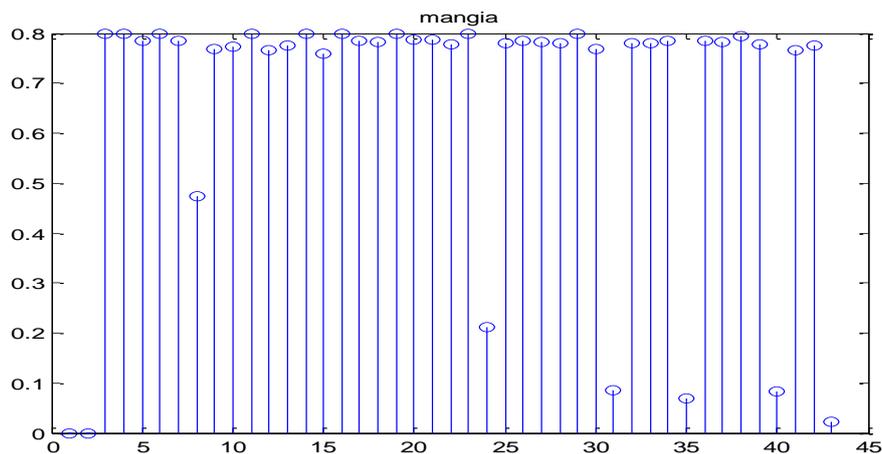
I grafici mostrati di seguito riguardano la prima fase di addestramento, quindi le simulazioni fatte all'interno solo dell'area semantica tra neuroni che codificano per diverse features. Per semplicità di lettura elencherò di nuovo le proprietà usate per gli oggetti in una lista, numerandole in base alla posizione all'interno della rete semantica.

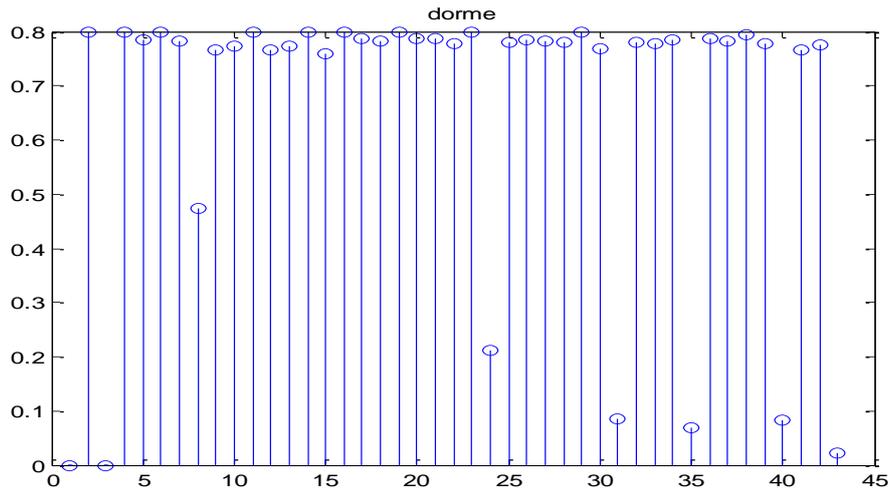
<b>Mangia = 2</b>	<b>Vola = 11</b>	<b>Muggisce = 20</b>
<b>Dorme = 3</b>	<b>Ha il becco arancione = 12</b>	<b>Ha le corna = 21</b>
<b>Ha il pelo = 4</b>	<b>Ha il becco grosso = 13</b>	<b>Miagola = 22</b>
<b>Scodinzola = 5</b>	<b>Ha le piume = 14</b>	<b>Ha quattro zampe = 23</b>
<b>Domestico = 6</b>	<b>Starnazza = 15</b>	<b>Polare = 24</b>
<b>Fa le fusa = 7</b>	<b>Ha due zampe = 16</b>	<b>Abbaia = 25</b>
<b>Va in letargo = 8</b>	<b>Si tosa = 17</b>	<b>Ha la cresta = 26</b>
<b>Pericoloso = 9</b>	<b>Bela = 18</b>	<b>Cova le uova = 27</b>
<b>Ripete i suoni = 10</b>	<b>Mangia erba = 19</b>	<b>Vive nel pollaio = 28</b>

<b>Ha le ali = 29</b>	<b>Si ricava la lana = 37</b>
<b>Ha il becco adunco = 30</b>	<b>Selvatico = 38</b>
<b>Porta sfortuna = 31</b>	<b>Ha le strisce bianche e nere = 39</b>
<b>Tuba = 32</b>	<b>Simbolo della Juventus = 40</b>
<b>Muova le testa avanti e dietro = 33</b>	<b>Caccia di notte = 41</b>
<b>Affettuoso = 34</b>	<b>Simile al cavallo = 42</b>
<b>Caccia i topi = 35</b>	<b>Si usava per mandare messaggi = 43</b>
<b>Si ricava il latte = 36</b>	

Ogni figura rappresenta la forza delle sinapsi che entrano in una proprietà dagli altri neuroni dell'area semantica dopo un addestramento di 300 prove. In ascissa ci sono le posizioni relative a ciascuna proprietà, (in totale sono 42), in ordinata il peso sinaptico il cui valore massimo è  $W_{max}^{SS} = 0.8$ .

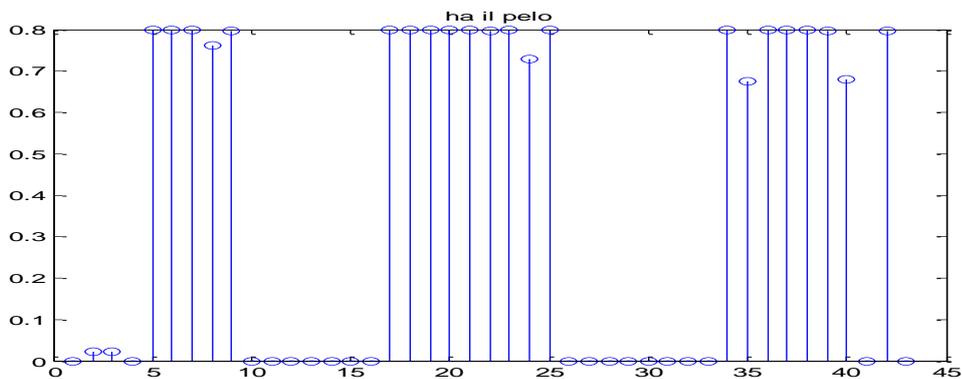
### Categoria "Animale"

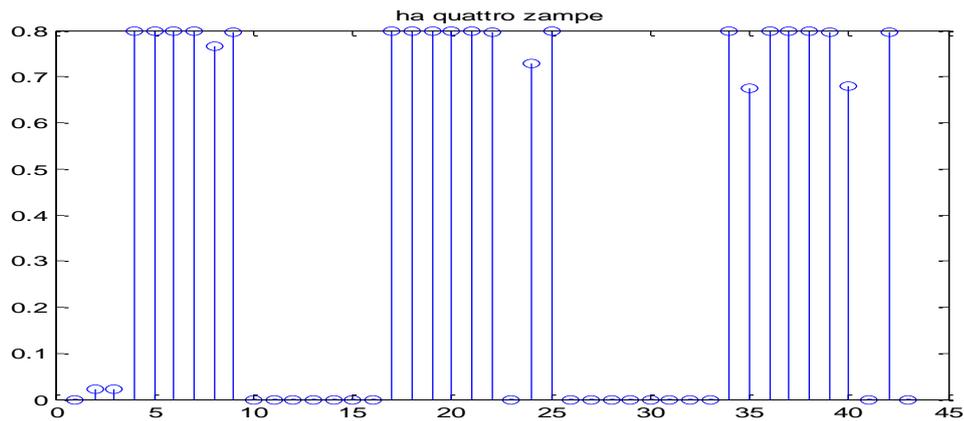




Le proprietà “mangia” e “dorme” sono proprietà salienti (80%) comuni a tutti gli animali, e formano la categoria “animale”. Quindi ricevono sinapsi da tutte le proprietà degli oggetti, tranne da se stesse. Le sinapsi che arrivano dalle proprietà salienti hanno una forza maggiore. In particolare, le sinapsi dalle proprietà distintive non salienti come la 35, 24, 40, 43, 31, sono più deboli perché capitano raramente, ancora meno con “mangia” e “dorme” che sono proprietà condivise con tutti, ma riescono ugualmente ad evocare queste proprietà (cioè “mangia” e “dorme”) durante il riconoscimento dei singoli animali, tramite le altre proprietà distintive salienti dell’oggetto che sono evocate per prime.

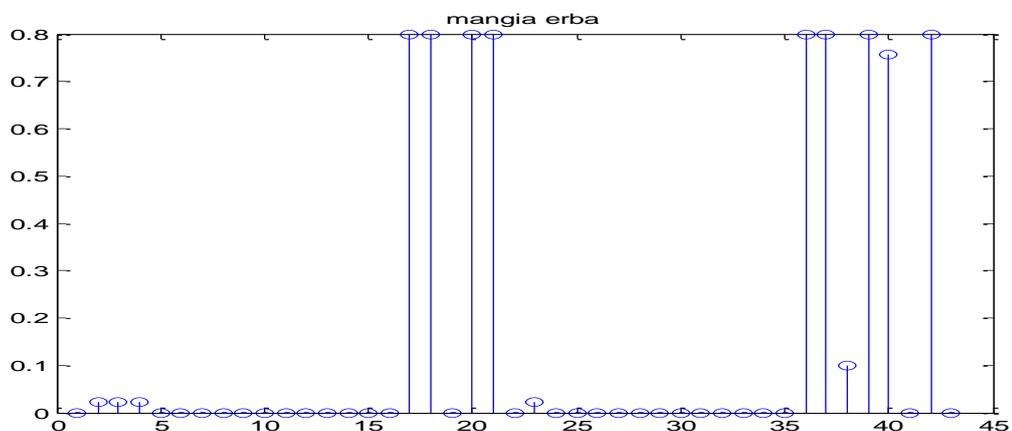
### Sottocategoria “Mammifero”





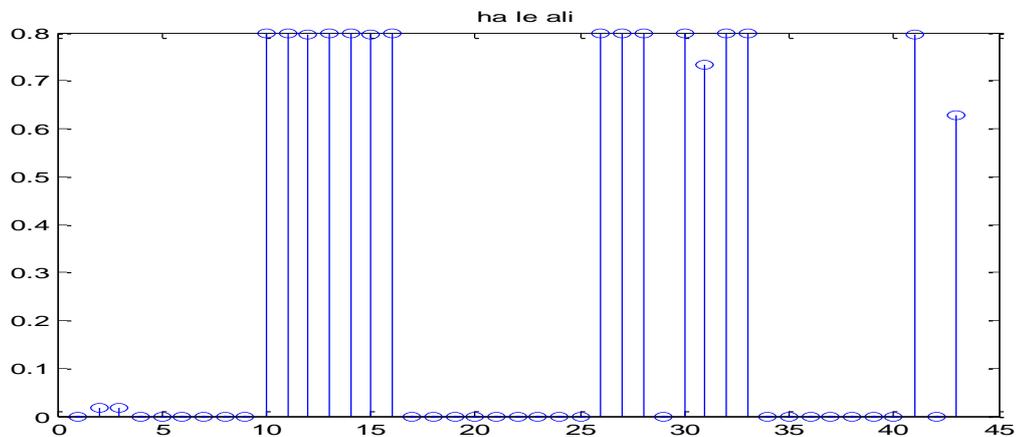
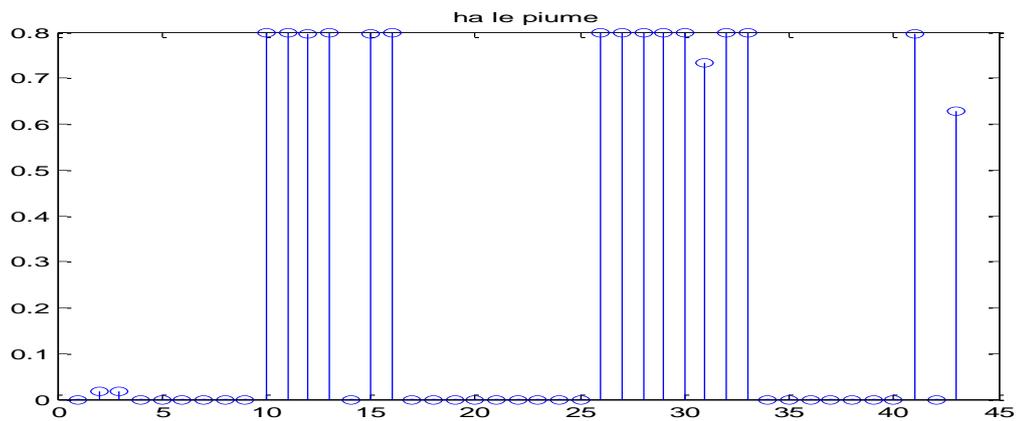
Le proprietà “ha il pelo” e “ha quattro zampe”, sono salienti (80%) e comuni a tutti i mammiferi, quindi determinano la formazione della categoria “Mammifero”. Le sinapsi questa volta arrivano non da tutte le proprietà degli oggetti, ma solo dalle proprietà di ogni mammifero e anche da ogni ruminante, poiché i ruminanti sono anche mammiferi, e la forza sinaptica è sempre pesata dalla salienza. Quindi non ci sono sinapsi inviate dalle proprietà degli uccelli e neppure dalle proprietà che appartengono alla categoria “animale”, perché infatti non tutti gli animali che mangiano e dormono hanno il pelo e hanno quattro zampe. Le due proprietà inoltre, (“ha il pelo” e “ha quattro zampe”) si evocano a vicenda.

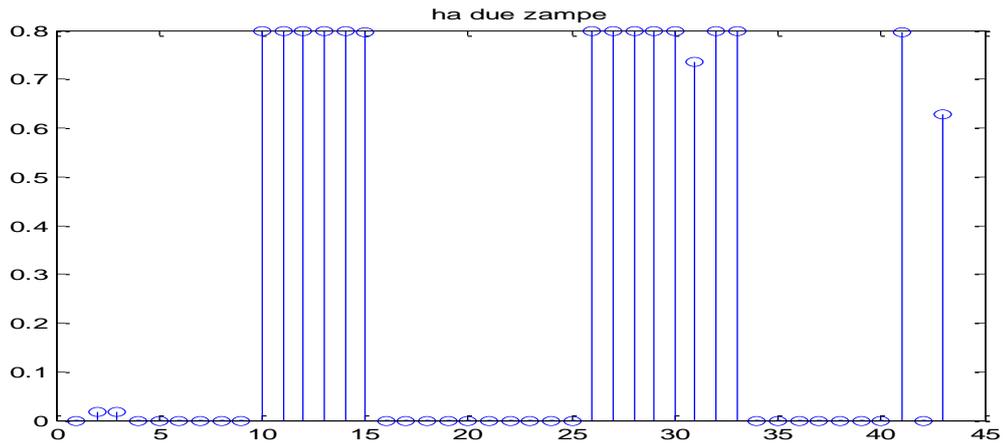
### Sottocategoria “Ruminante”



La sottocategoria “Ruminante” è formata dalla proprietà saliente comune “mangia erba”, la quale riceve sinapsi soltanto dalle proprietà della zebra, della mucca e della pecora, e non riceve dalla categoria “mammifero” perché non tutti i mammiferi che hanno il pelo e hanno quattro zampe sono ruminanti, e non riceve neppure dalla categoria “animale”, perché infatti non tutti gli animali che mangiano e dormono sono ruminanti. La proprietà 38 non saliente invia una sinapsi molto debole ma nel riconoscimento delle zebra riesce ad evocare “mangia erba” attraverso il richiamo di altre proprietà salienti della zebra. I piccoli residui che vediamo intorno al valore zero sono trascurabili.

### Sottocategoria “Uccello”

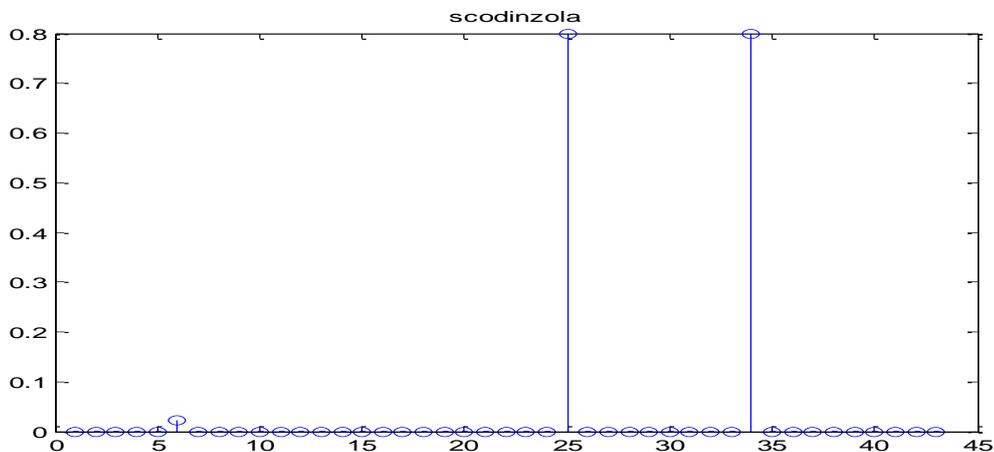


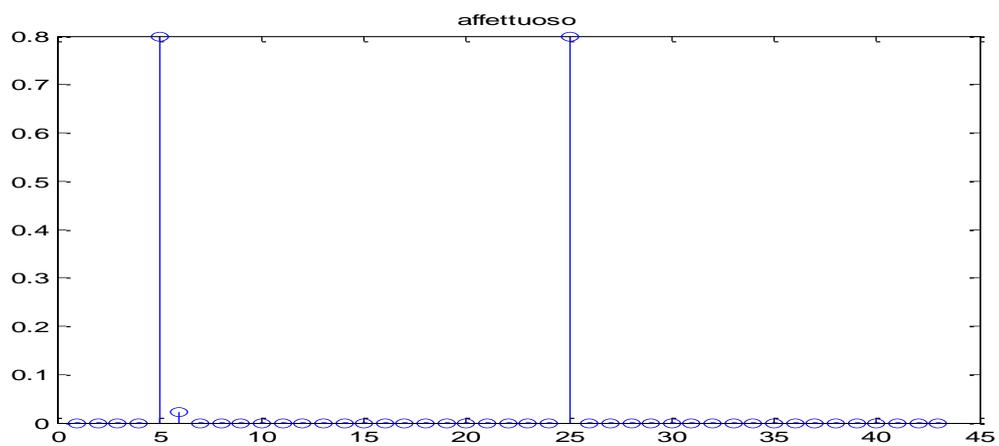
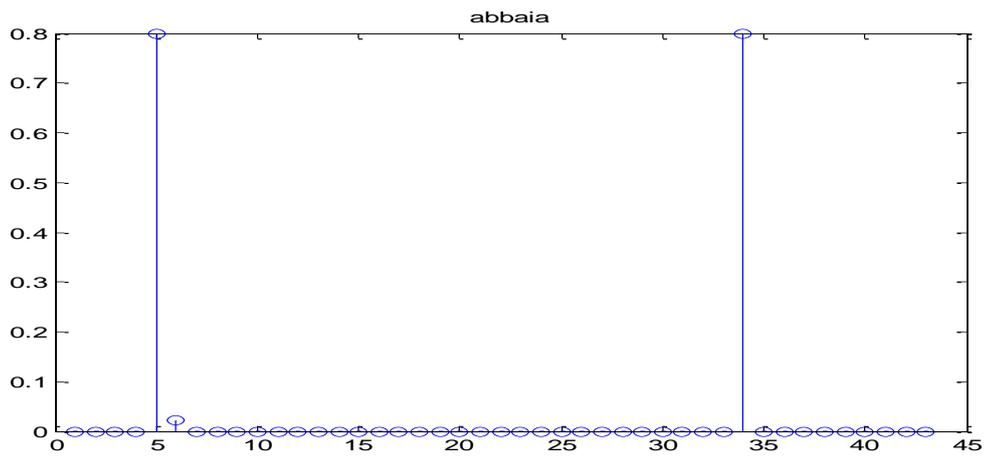


Queste tre proprietà che sono salienti, formano la sottocategoria dell'uccello. Esse si evocano reciprocamente, ricevono sinapsi da tutte le proprietà di ogni uccello, non ricevono sinapsi dalla categoria "mammifero" (né ovviamente dalle proprietà di ciascun mammifero) e neppure dalla categoria "animale".

Adesso saranno mostrati i grafici relativi alle proprietà distintive di ciascun animale. Ogni proprietà distintiva saliente, deve ricevere sinapsi solo dalle altre proprietà distintive (anche non salienti) che appartengono allo stesso oggetto.

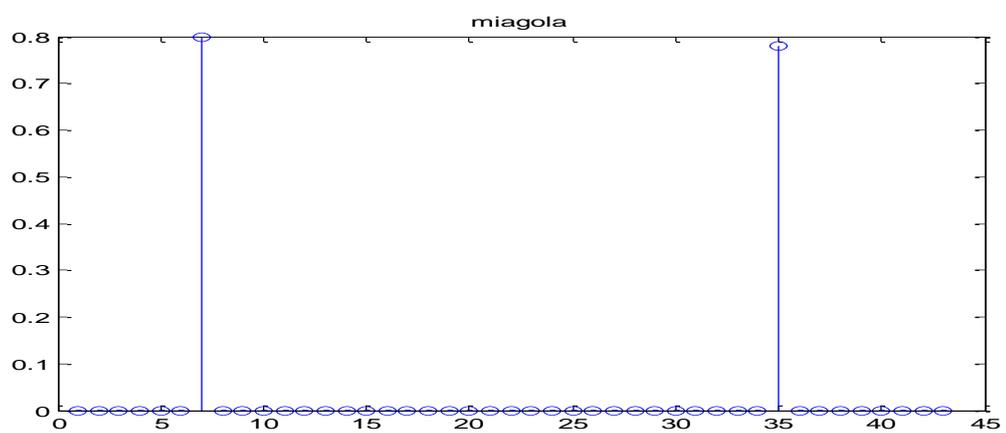
### "Cane"

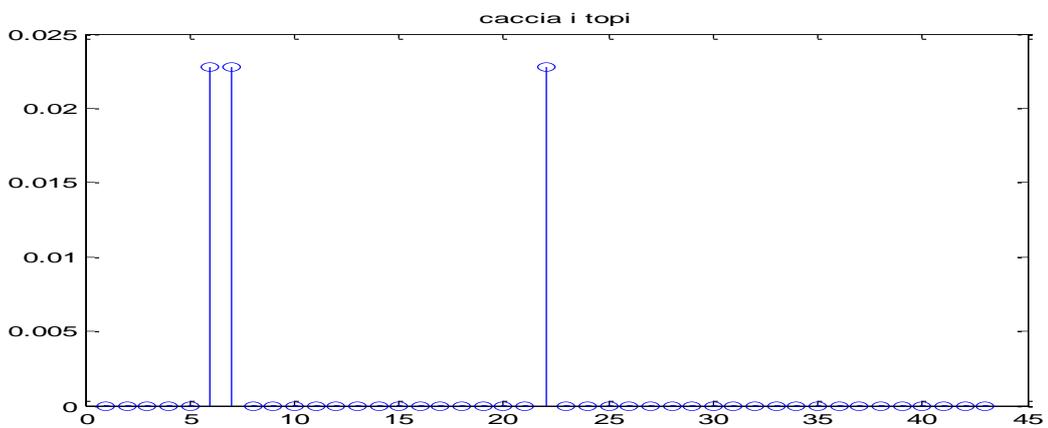
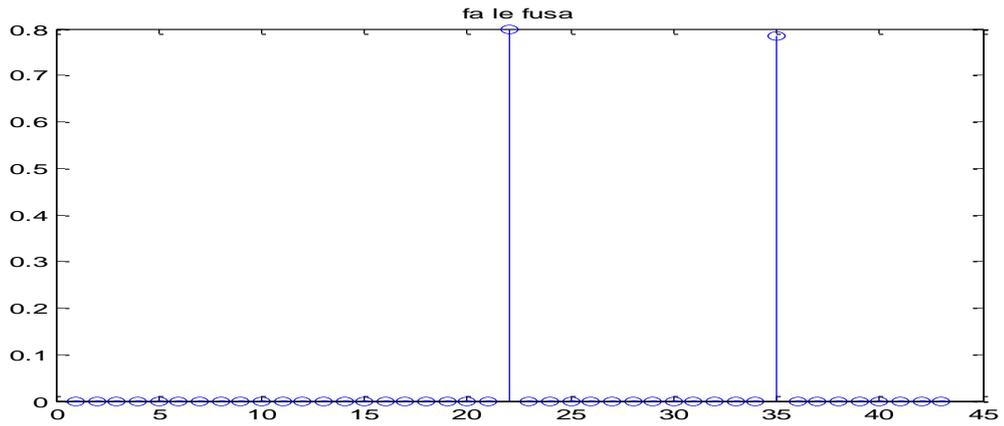




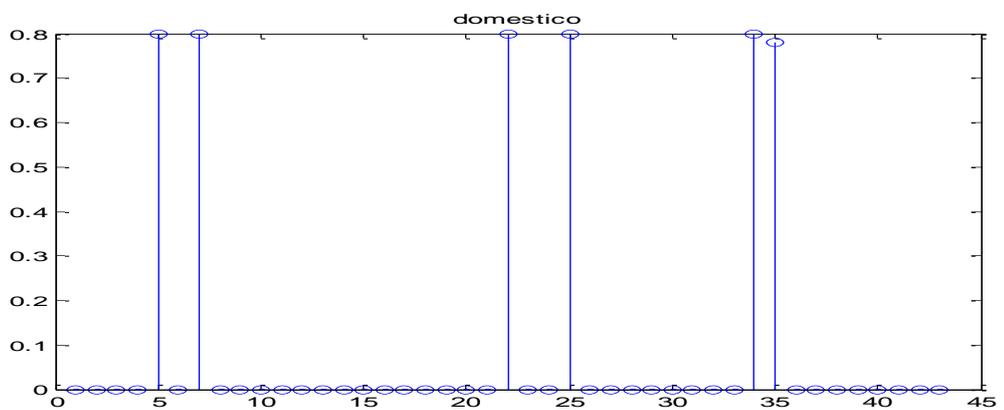
Tutte queste proprietà sono salienti, si eccitano reciprocamente e ricevono sinapsi forti in ingresso, per cui sono evocate facilmente.

### “Gatto”



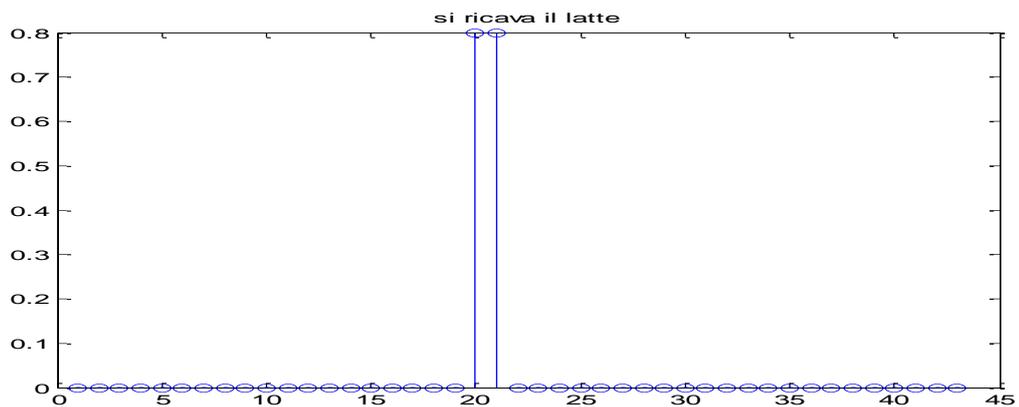
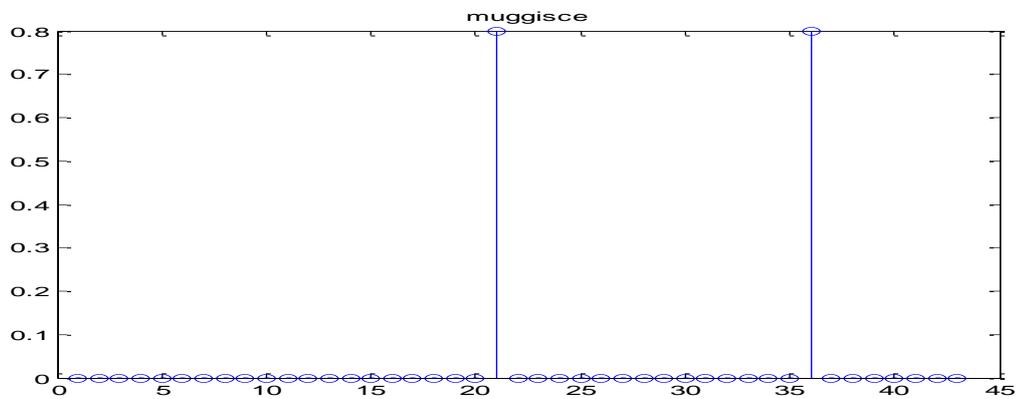


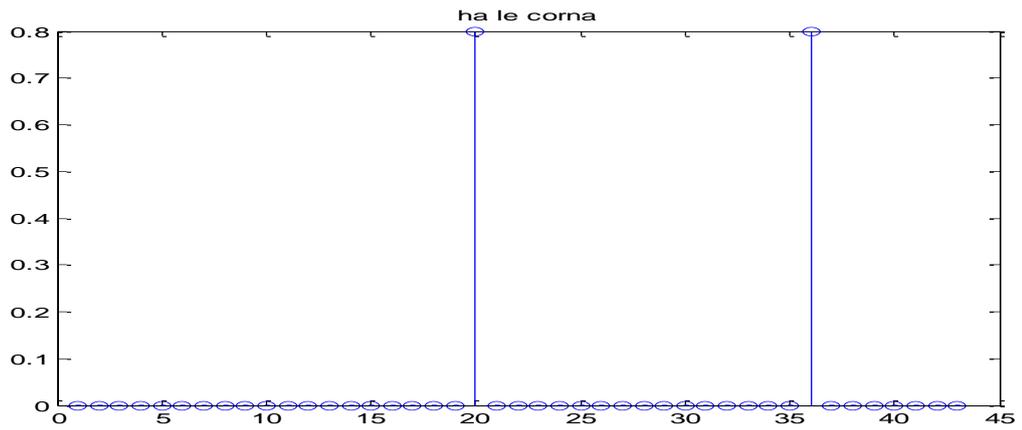
Le prime due proprietà, “miagola” e “fa le fusa”, sono salienti, dunque ricevono forti sinapsi in ingresso e sono evocate facilmente. La proprietà “caccia i topi” essendo non saliente invece, riceve sinapsi debolissime (prossime a zero) dalle altre proprietà distintive del gatto, insufficienti per evocare questa proprietà.



La proprietà “domestico” appartiene sia al cane che al gatto. Come si osserva dal grafico, questa proprietà distingue il cane e il gatto dagli altri mammiferi, per cui riceve sinapsi dalle proprietà distintive sia del cane che del gatto. Potrebbe essere usata per formare un’ulteriore sottocategoria di animali domestici, che avrebbero quindi in comune le proprietà “mangia”, “dorme”, “ha il pelo”, “ha quattro zampe”, “domestico”.

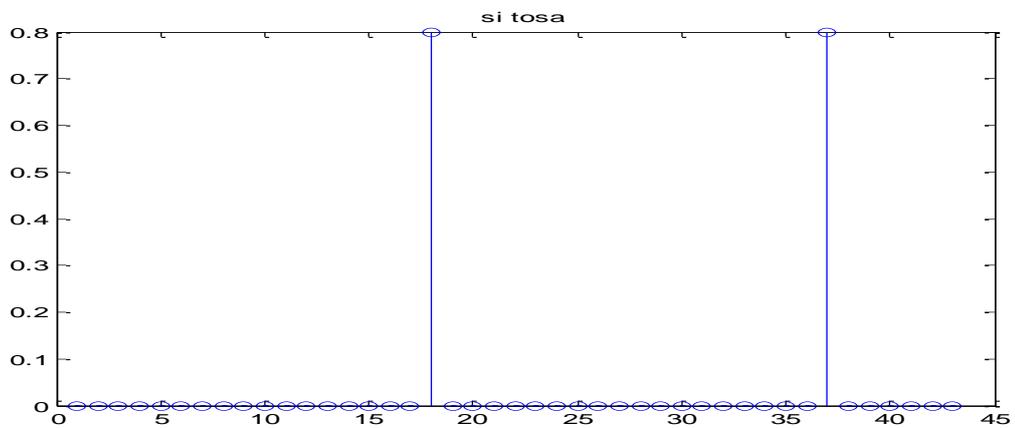
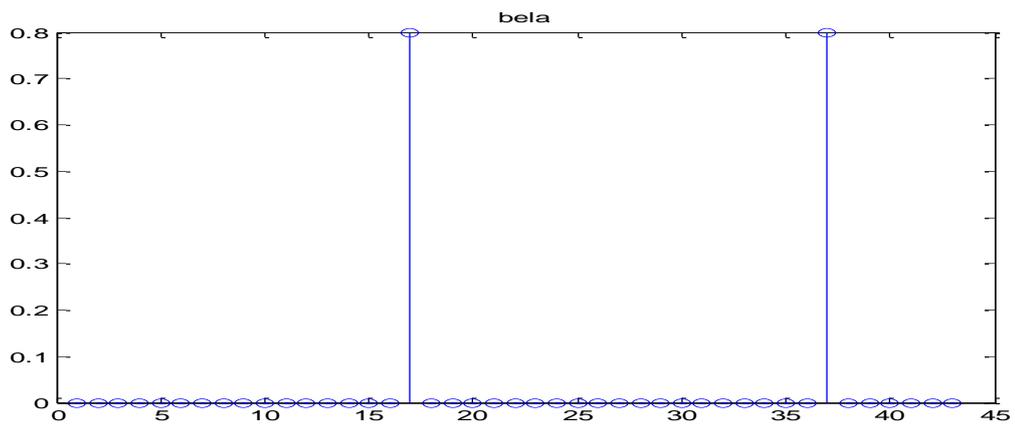
### “ Mucca”

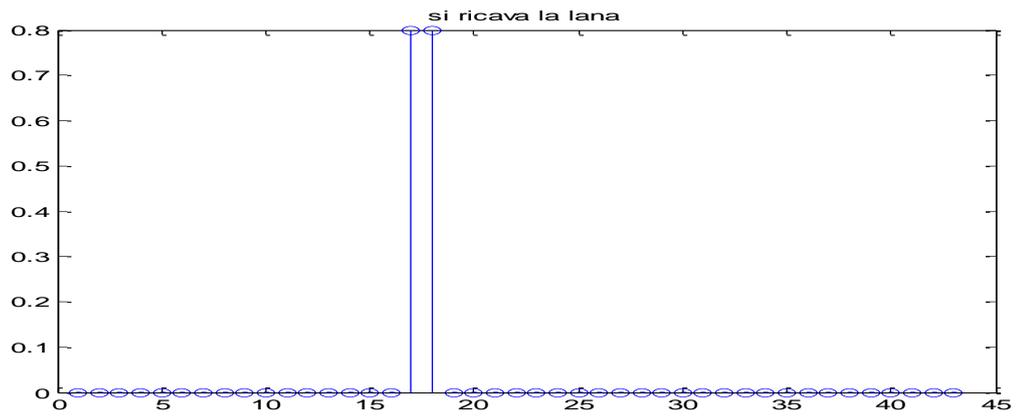




Tutte queste proprietà sono salienti, si eccitano l'una con l'altra con una forza sinaptica alta che è sufficiente per evocarle.

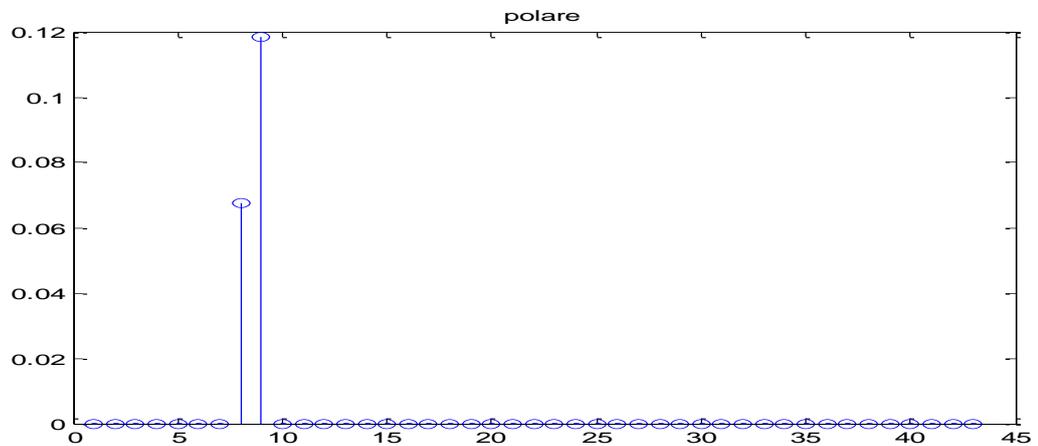
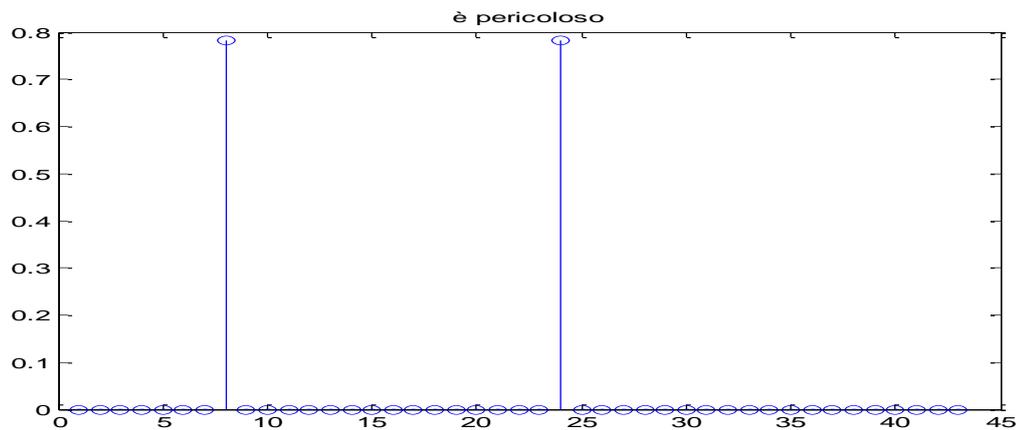
### “Pecora”

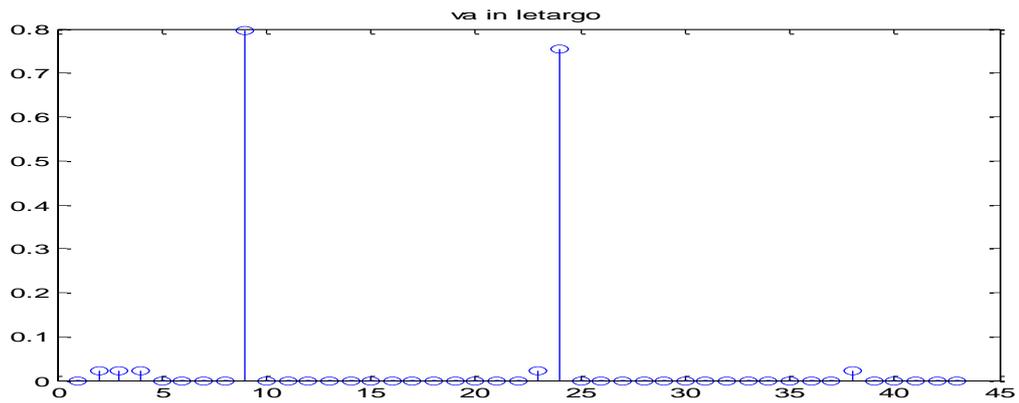




Le proprietà distintive della pecora sono salienti, ognuna evoca l'altra inviando sinapsi forti in uscita.

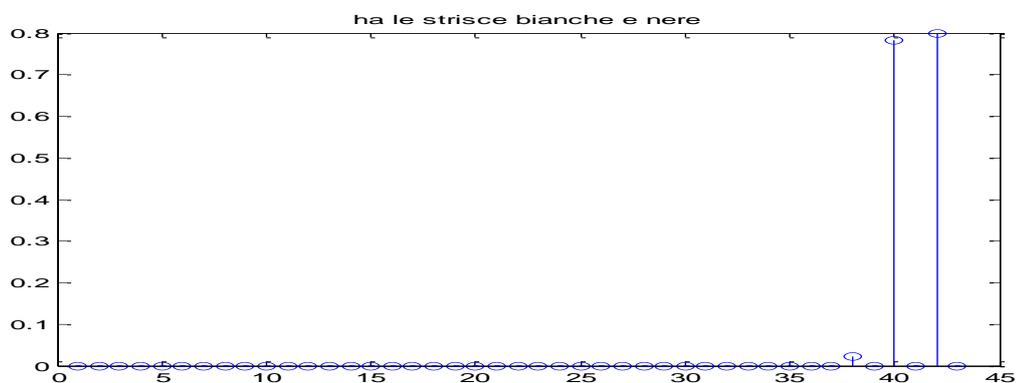
### “Orso”

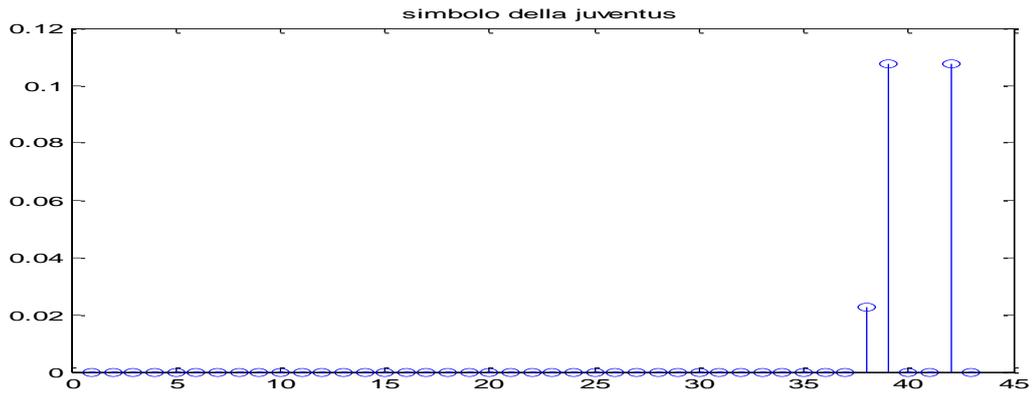
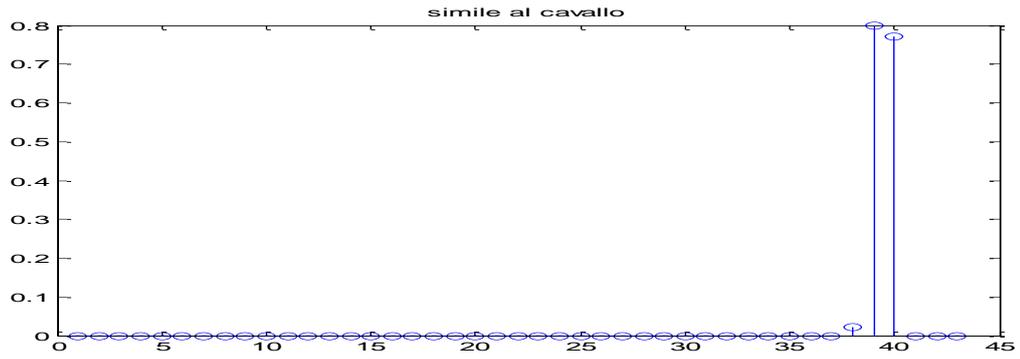




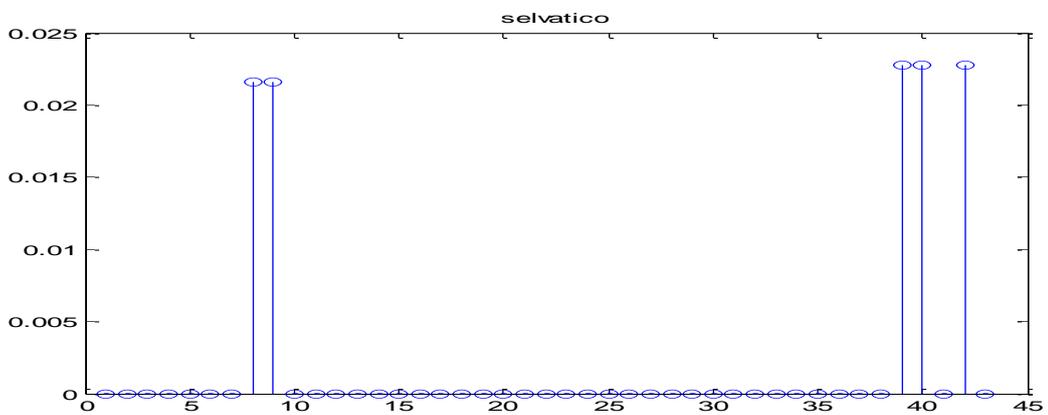
La proprietà “pericoloso” è saliente, quindi viene evocata dalle altre proprietà distintive dell’orso. La proprietà “polare” non è saliente (50% di occorrenza), quindi riceve sinapsi molto deboli dalle proprietà 8 e 9, ma queste non bastano per evocarla. La proprietà “va in letargo” ha il 70% di occorrenza, questo valore corrisponde al valore di soglia  $\theta_{post}^{SS} = 0.7$ , per cui essendo le percentuali oscillanti intorno a una media (che in questo caso è il 70%), la proprietà potrebbe verificarsi un 65% delle volte e quindi rimanere sotto soglia, oppure un 75% di volte (per cui è considerata saliente come in questo caso).

### “Zebra”



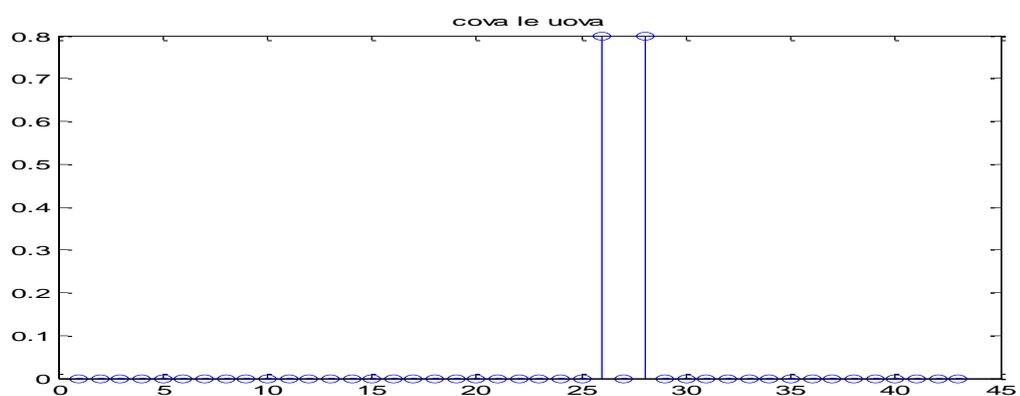
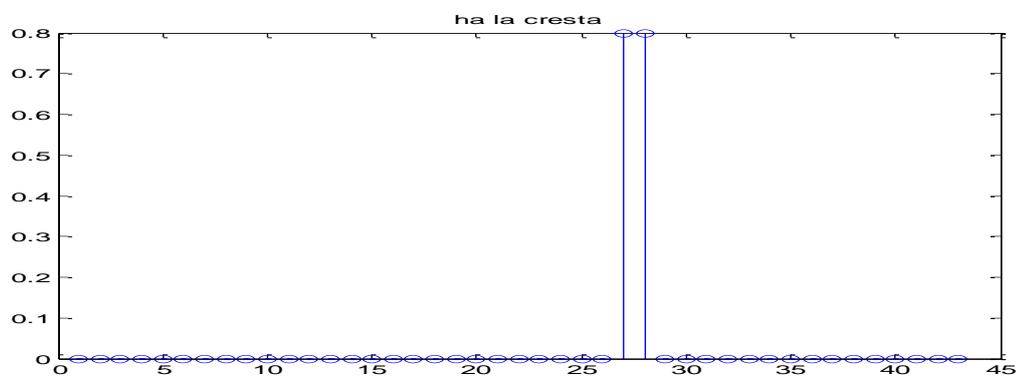
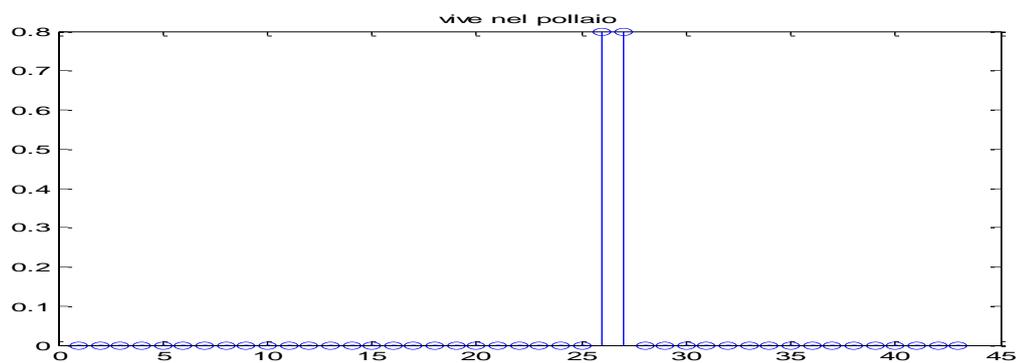


Le proprietà “ha le strisce bianche e nere” è “simile al cavallo” sono salienti (80%), quindi ricevono forti sinapsi in ingresso, la prima riceve da 40 e 42 (vedere lista proprietà), la seconda riceve da 39 e 40. La proprietà “simbolo della juventus” non è saliente (50%), quindi le sinapsi che riceve sono troppo deboli per poterla evocare.



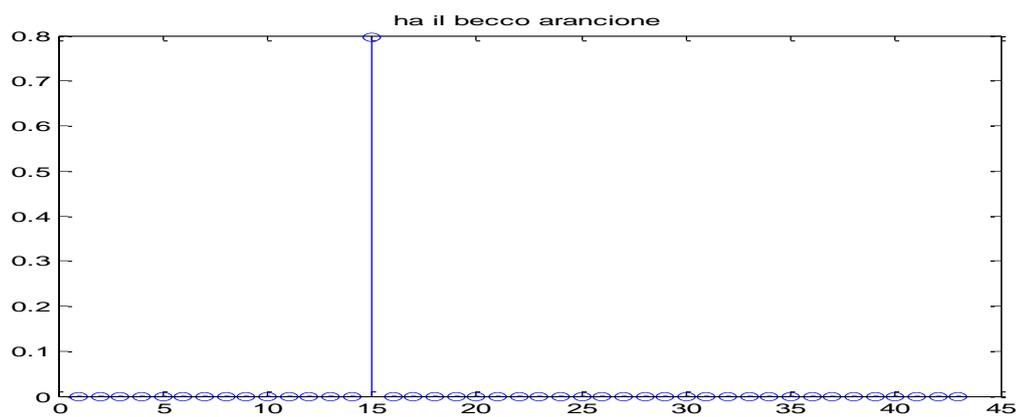
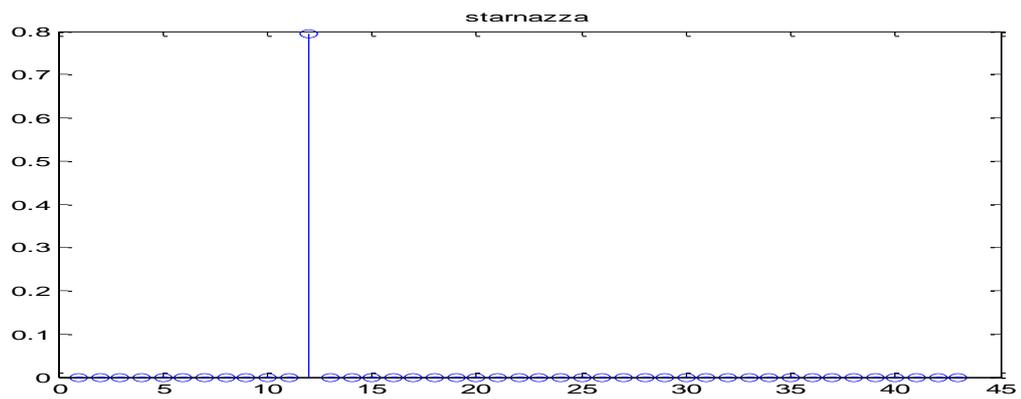
La proprietà “selvatico” è condivisa dall’orso e dalla zebra, e analogamente alla proprietà “domestico” (nel caso del gatto e del cane), è considerata come una proprietà distintiva che distingue l’orso e la zebra dagli altri mammiferi. Essendo però non saliente (50%) riceve deboli sinapsi in ingresso dalle proprietà distintive dei due animali, insufficienti per poterla richiamare.

## “Gallina”



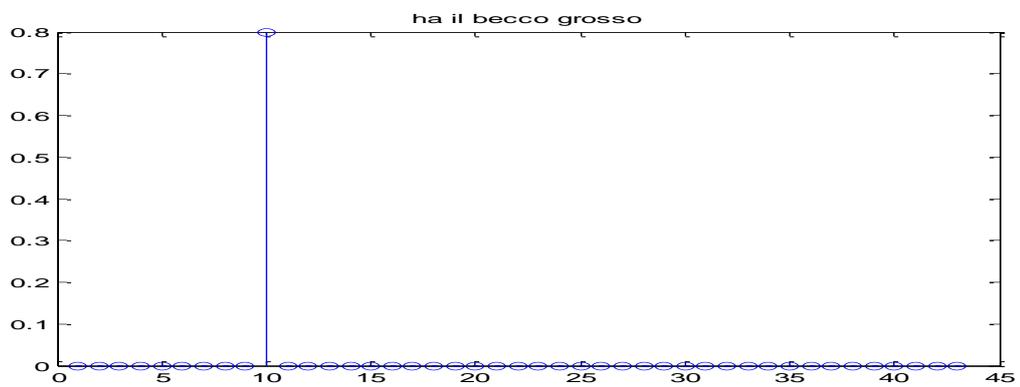
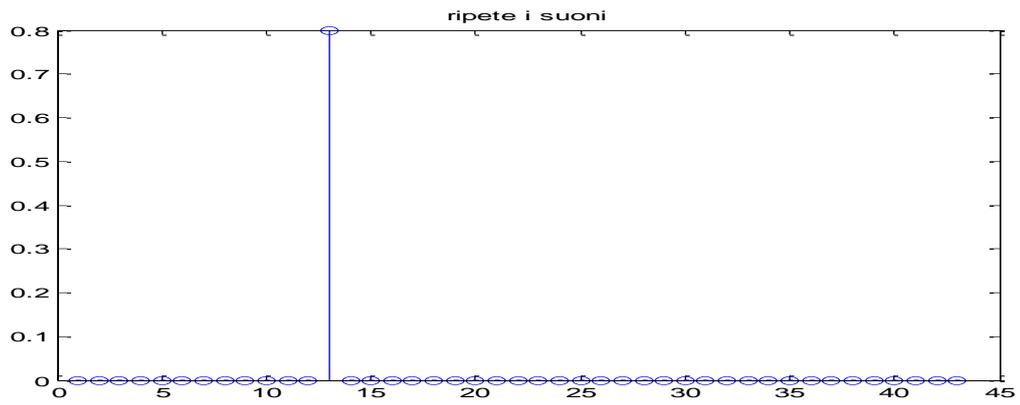
Le tre proprietà distintive della gallina sono salienti, ognuna riceve sinapsi forti dalle altre proprietà distintive.

### “Oca”



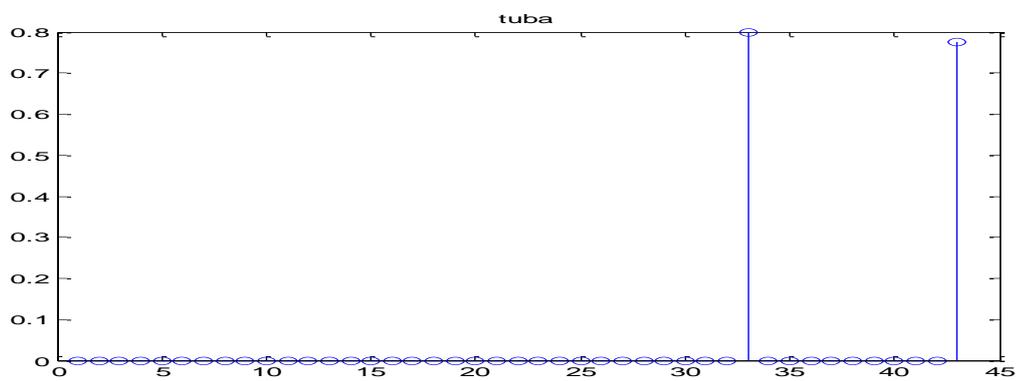
Entrambe le proprietà sono salienti, si richiamano reciprocamente con una forza sinaptica alta.

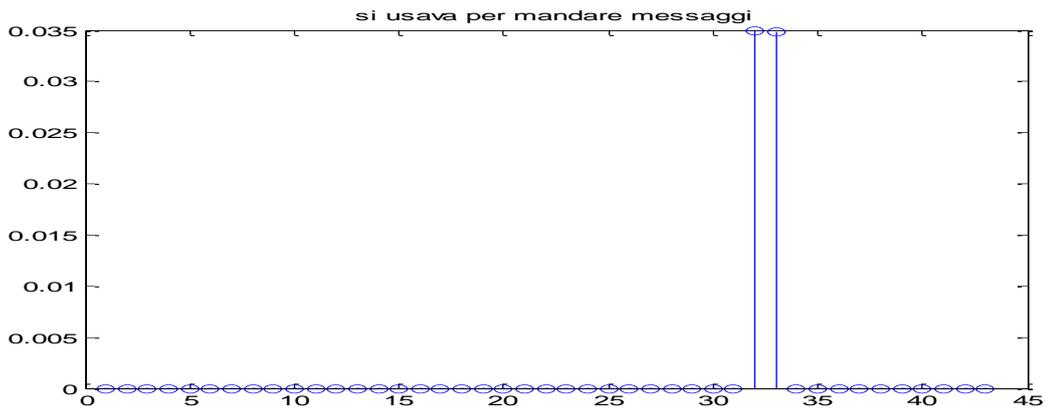
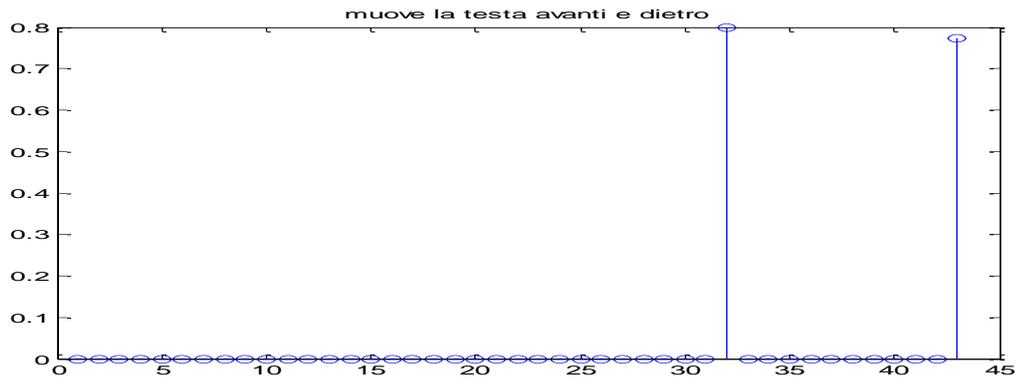
## “Pappagallo”



Le due proprietà sono salienti, ricevono in input sinapsi forti e si eccitano reciprocamente.

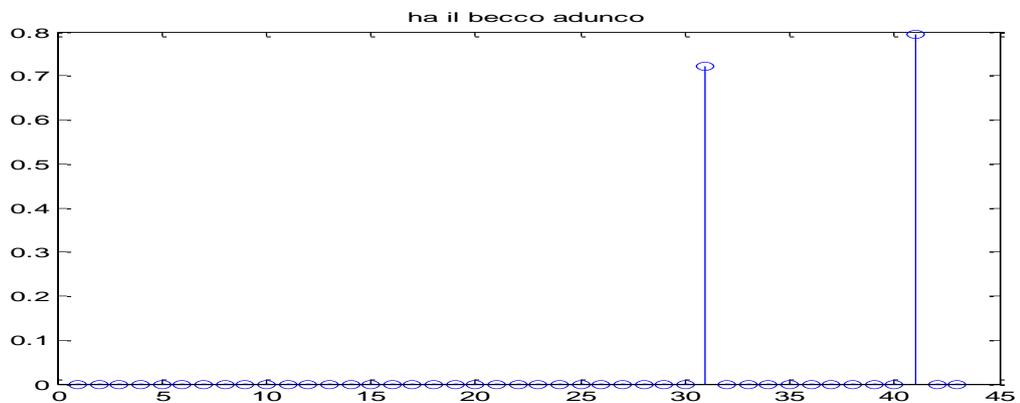
## “Piccione”

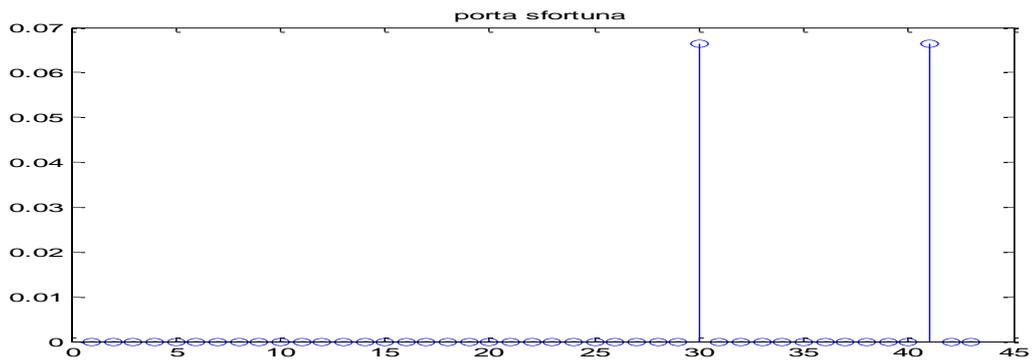
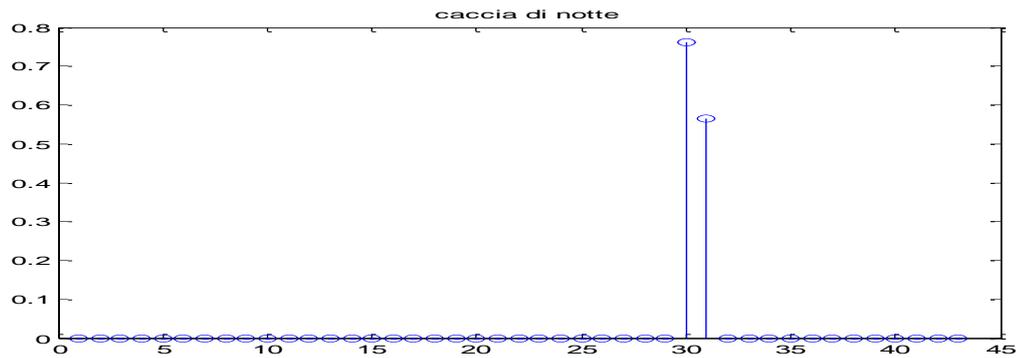




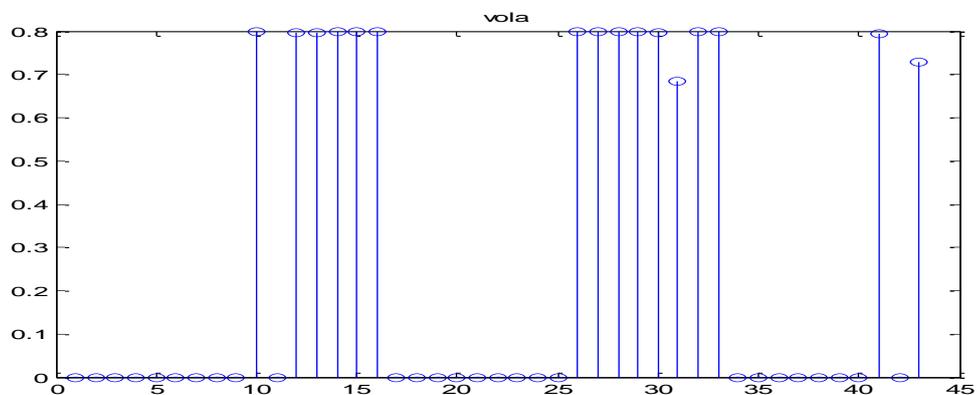
Le prime due proprietà distintive del piccione sono salienti, e infatti ricevono sinapsi forti in ingresso dalle altre proprietà distintive; la terza proprietà come si può notare, essendo non saliente (50%) non riceve sinapsi abbastanza forti per poter essere evocata.

### “Gufo”





La proprietà “ha il becco adunco” è saliente, quindi riceve sinapsi forti in ingresso. La proprietà “caccia i topi” ha una percentuale di occorrenza del 70%, in questo caso si è verificata con una percentuale che oscilla e supera il valore di soglia semantico 0.7, per cui è considerata saliente e riceve anch’essa forti sinapsi in ingresso. La proprietà “porta sfortuna” non essendo saliente riceve sinapsi molto deboli ,quindi non può essere evocata.



La proprietà “vola” è comune all’oca, al pappagallo, al gufo e al piccione, ma non alla gallina. Sono necessarie alcune osservazioni. Questa proprietà infatti, dovrebbe ricevere sinapsi soltanto dalle proprietà di questi animali. Come si nota dal grafico però, le sinapsi in ingresso alla proprietà “vola”, arrivano anche dalle proprietà della gallina (che è un uccello ma non vola) e dalla categoria “uccello”. Questa situazione si può spiegare nel seguente modo: ogni volta che si presenta un volatile vengono richiamate le proprietà comuni che formano la categoria “uccello”, ovvero le proprietà “ha due zampe”, “ha le ali”, “ha le piume”. Inoltre, 4 volte su 5, ovvero l’80% delle volte, tali proprietà si verificano nell’area semantica, insieme con la proprietà “vola”. Pertanto, l’80% delle volte la sinapsi che va da “ha due zampe”, “ha le ali”, “ha le piume”, verso “vola” si rinforza, mentre solo il 20% delle volte (cioè una volta su 5, per la gallina), si indebolisce. Ne consegue che, dopo un certo addestramento, le prime tre proprietà richiamano automaticamente la proprietà “vola”, attribuita alla categoria “uccello”, per cui risulta come se anche la gallina volasse. Una tale situazione, potrebbe anche essere accettabile, poiché quando si pensa all’uccello in generale, viene in mente subito che vola, e non il fatto che ci sia un esempio di uccello (come la gallina appunto) che invece non vola.

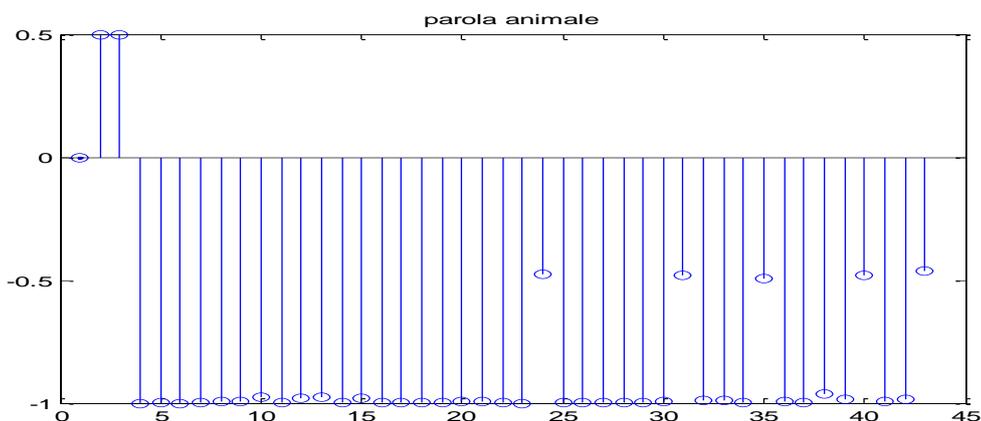
## 4.2 Risultati Modello 1- Fase 2

I grafici riportati sotto mostrano la forza delle sinapsi (in ordinata) che entrano in ciascuna delle 15 unità lessicali, codificanti per una parola, da ogni unità semantica (in ascissa) ciascuna codificante per una proprietà, cioè le  $W_{j,i}^{LS}$ . Ricordo prima la lista delle parole utilizzate e la corrispondente posizione all'interno dell'area lessicale:

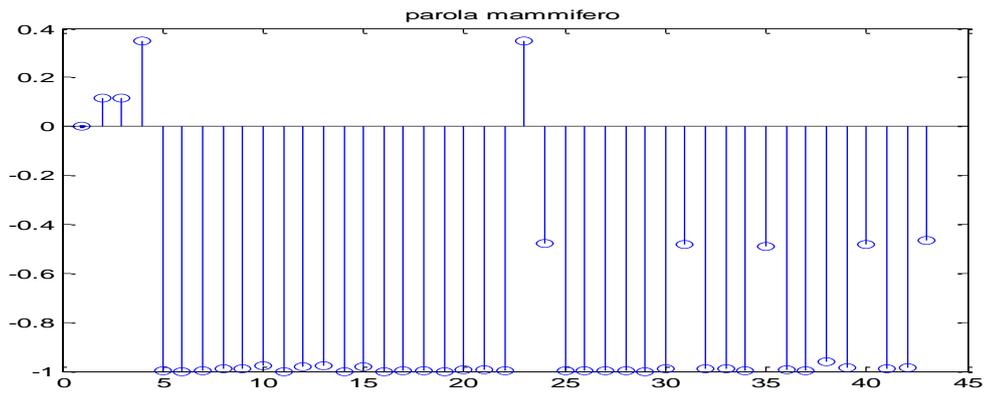
<b>Cane = 1</b>	<b>Oca = 7</b>	<b>Mammifero = 12</b>
<b>Gatto = 2</b>	<b>Gallina = 8</b>	<b>Uccello = 13</b>
<b>Orso = 3</b>	<b>Gufo = 9</b>	<b>Animale = 14</b>
<b>Pecora = 4</b>	<b>Piccione = 10</b>	<b>Ruminante = 15</b>
<b>Mucca = 5</b>	<b>Zebra = 11</b>	
<b>Pappagallo = 6</b>		

I primi quattro grafici rappresentano le sinapsi in ingresso alle parole relative alle 4 categorie “Animale”, “Mammifero”, “Uccello”, “Ruminante” :

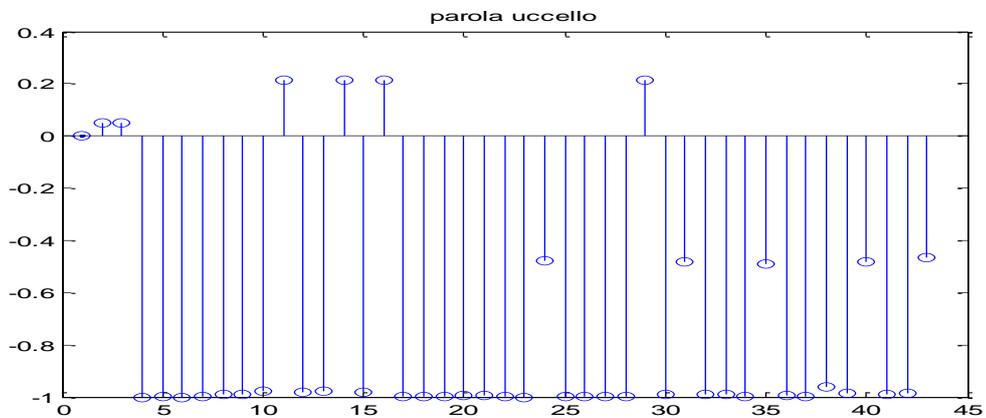
### Categoria “Animale”



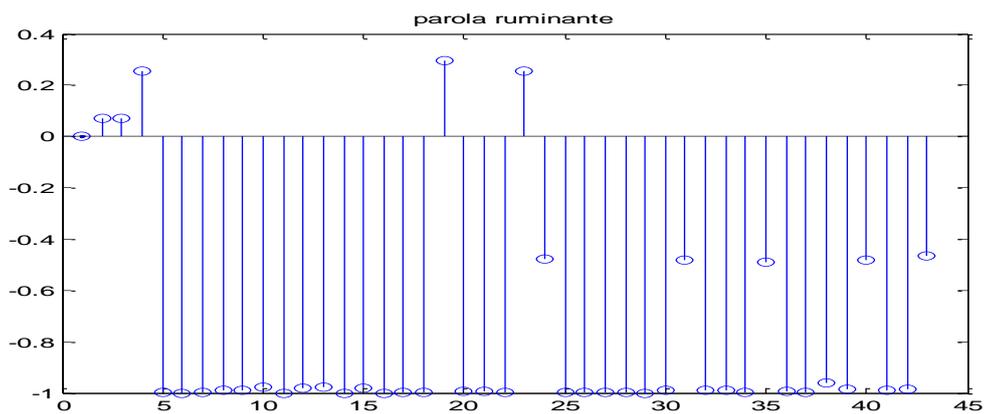
### Sottocategoria “Mammifero”



### Sottocategoria “Uccello”

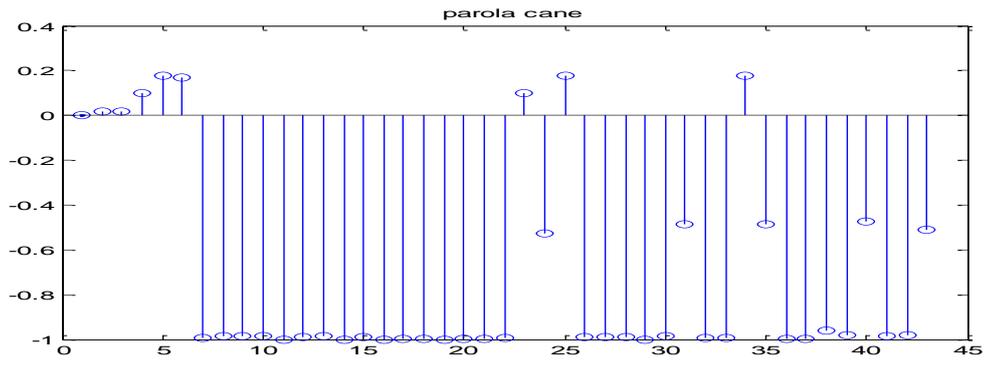


### Sottocategoria “Ruminante”

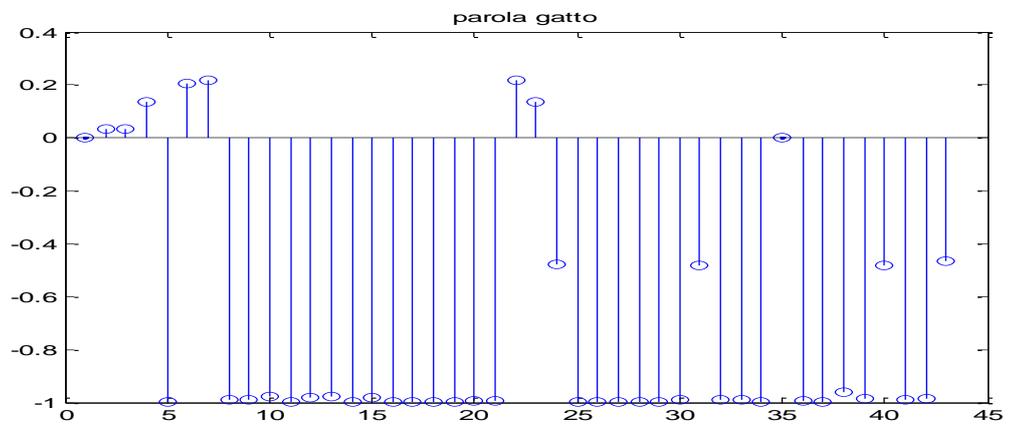


I grafici successivi invece mostrano le sinapsi entranti in ogni parola che codifica per un oggetto (un animale), dalle unità semantiche :

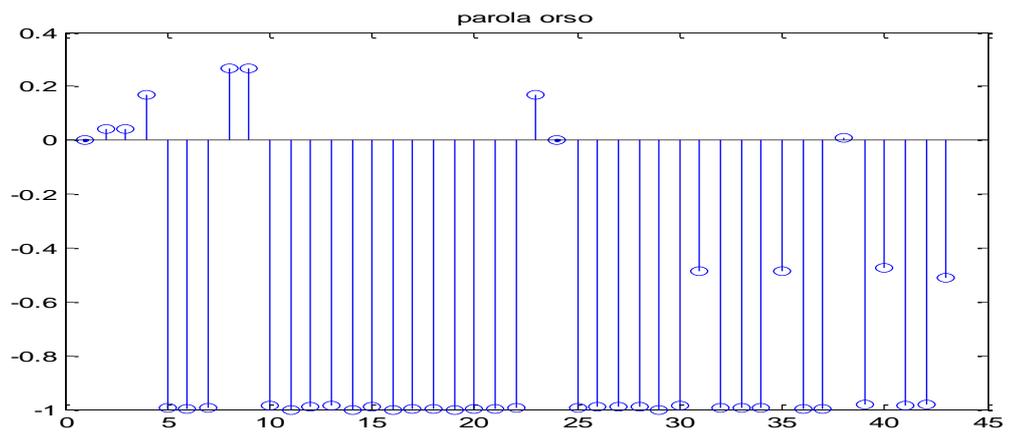
# “Cane”



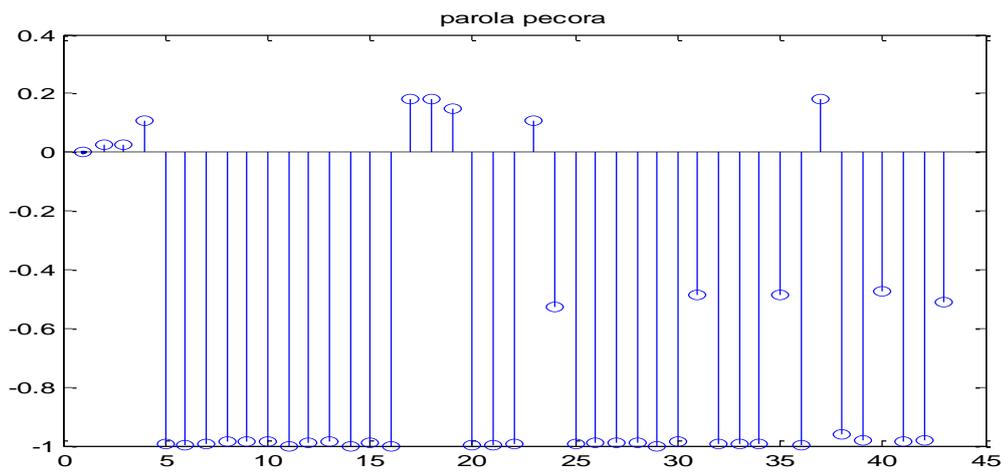
# “Gatto”



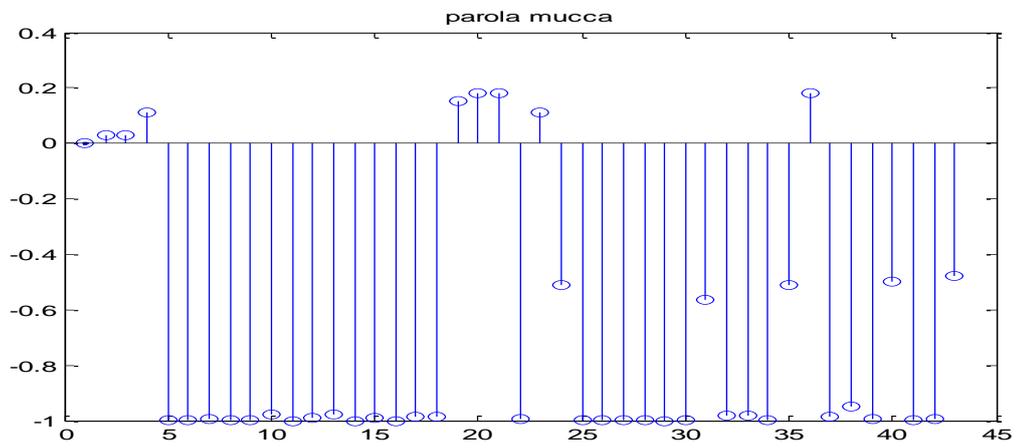
# “Orso”



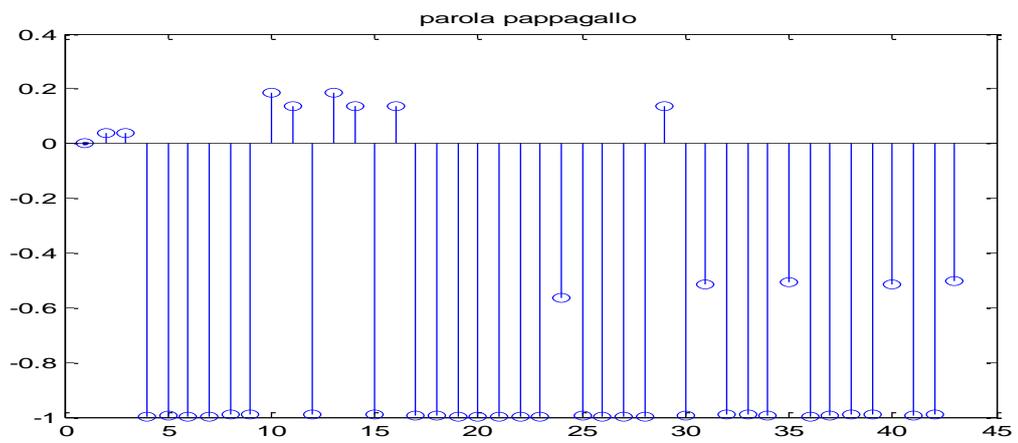
## “Pecora”



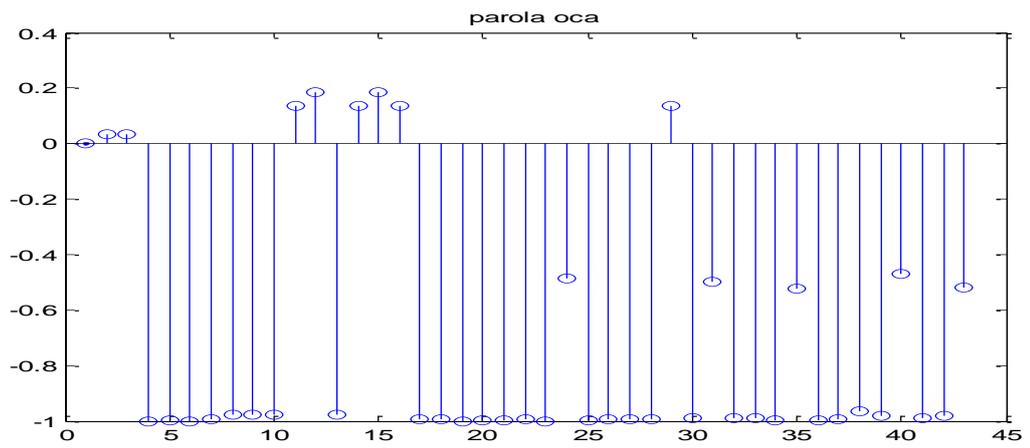
## “Muca”



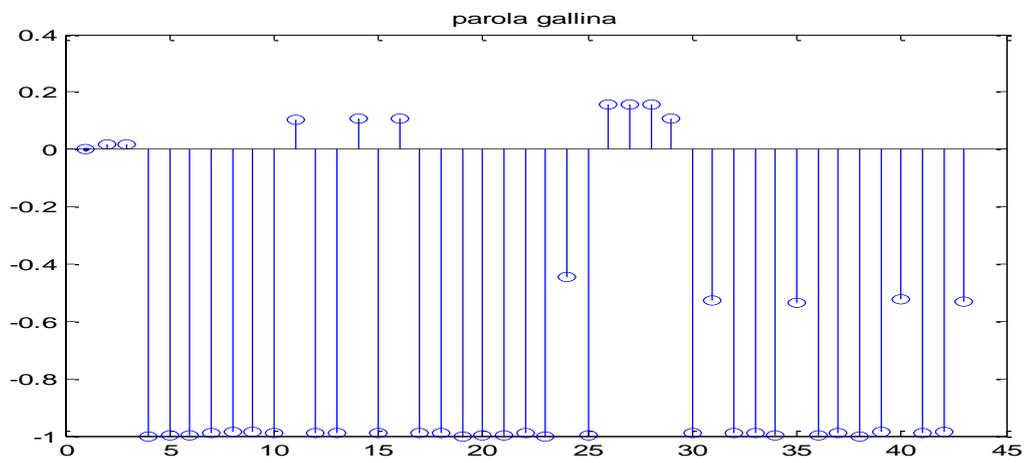
## “Pappagallo”



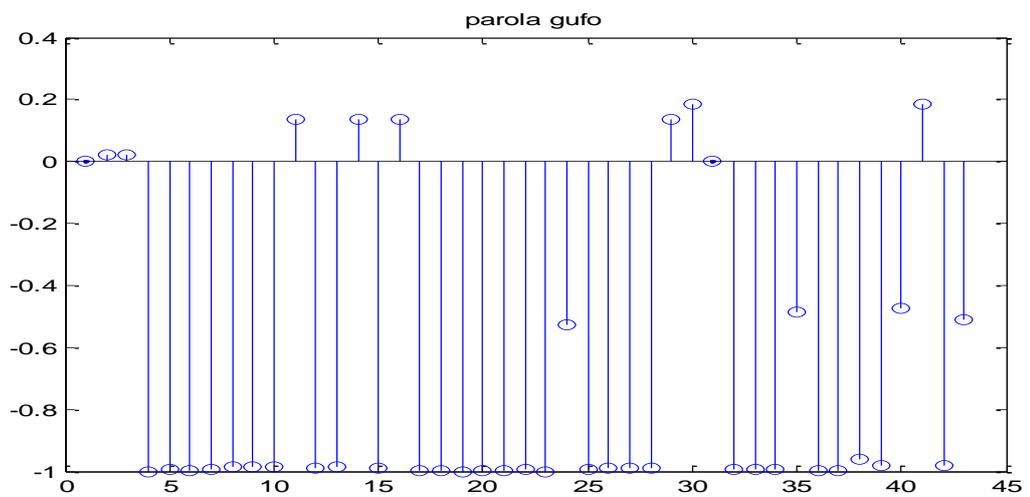
## “Oca”



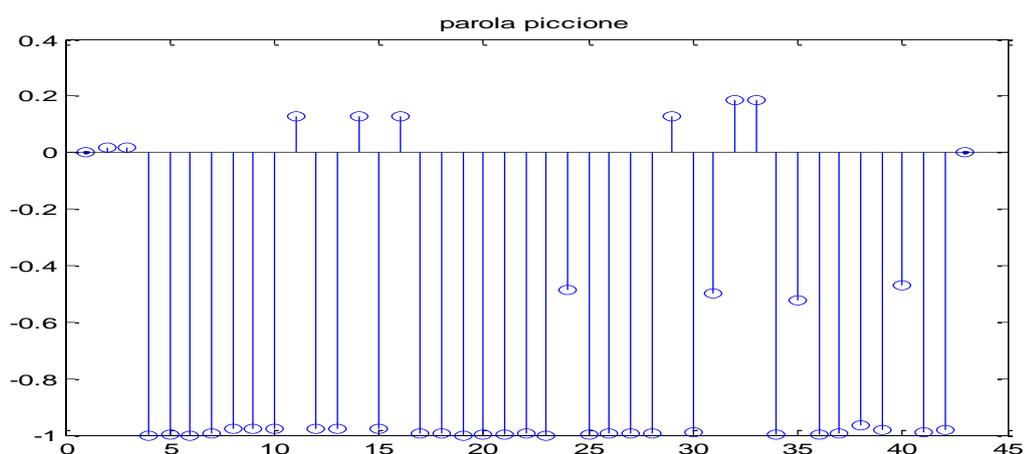
## “Gallina”



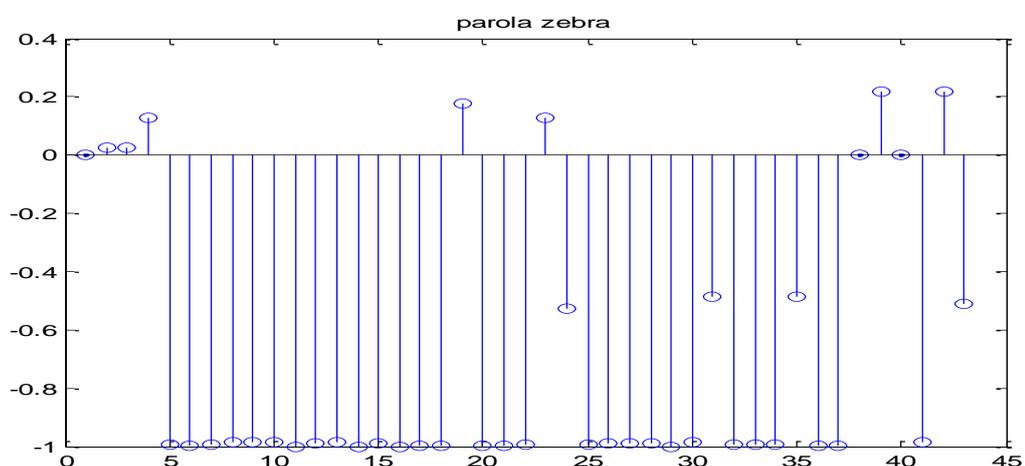
## “Gufo”



## “Piccione”



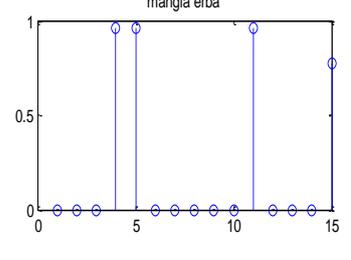
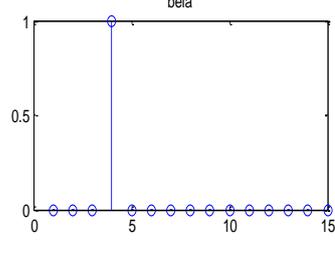
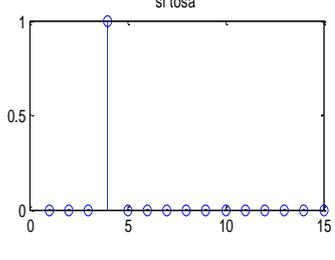
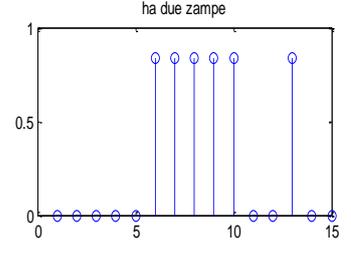
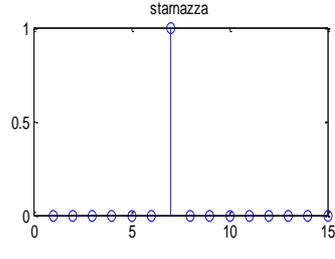
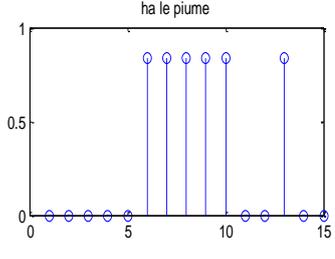
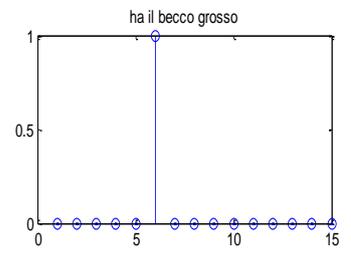
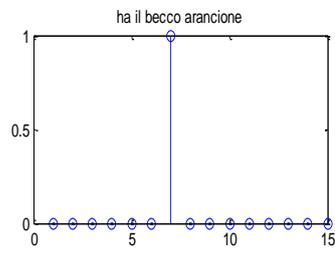
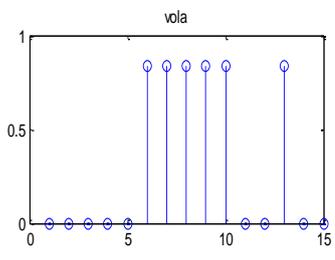
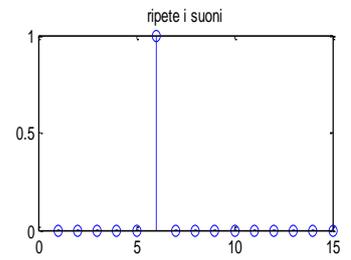
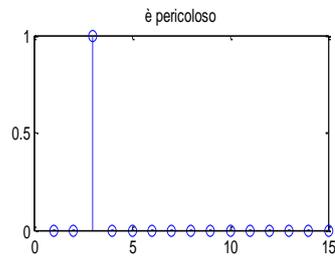
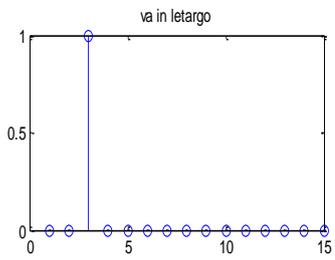
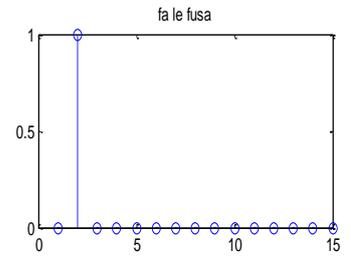
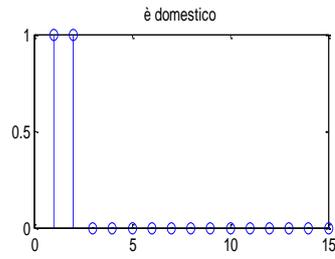
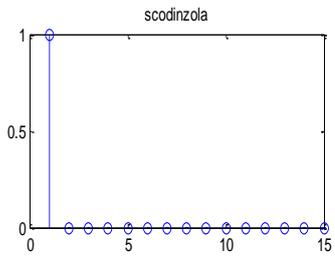
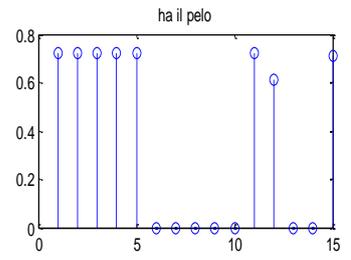
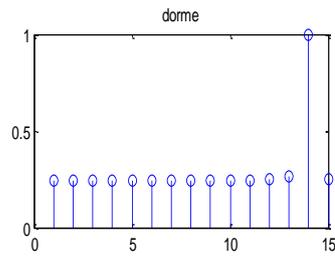
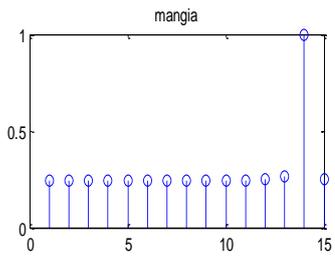
## “Zebra”

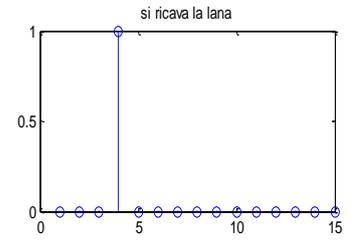
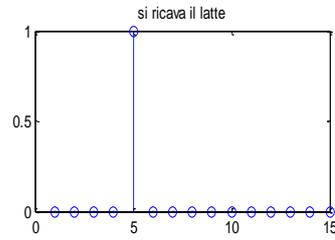
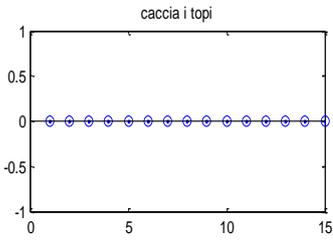
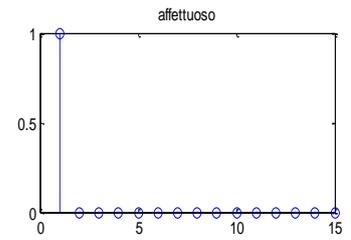
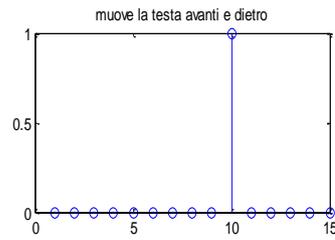
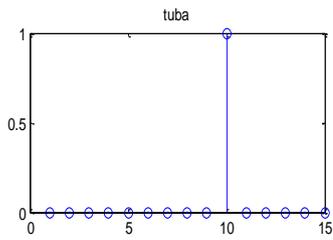
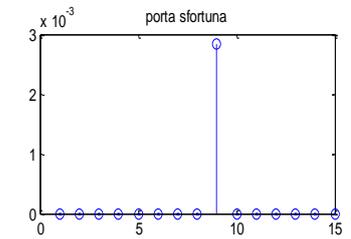
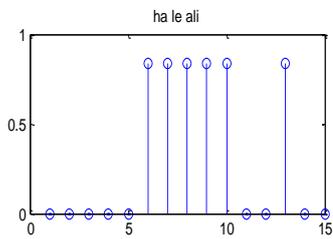
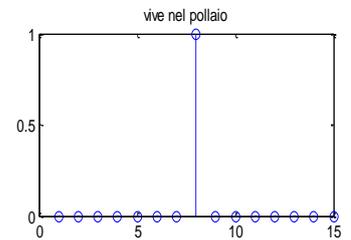
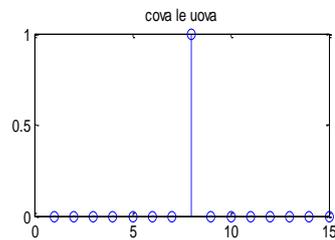
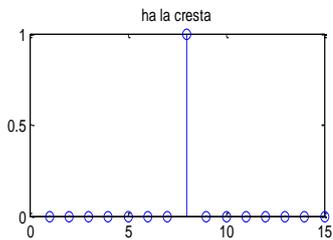
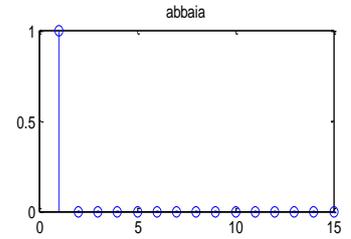
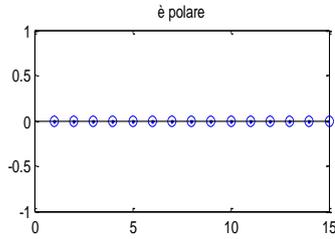
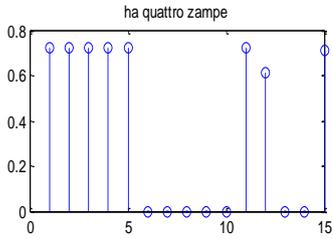
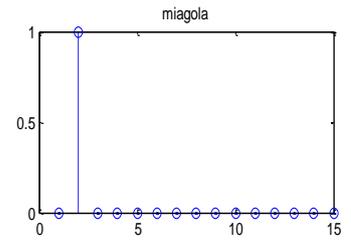
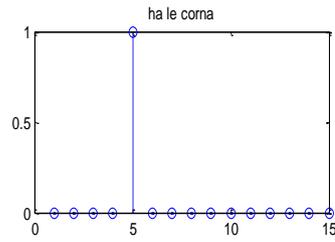
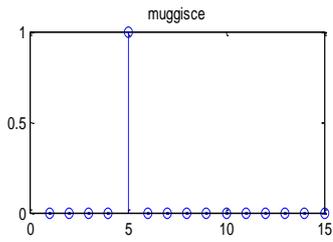


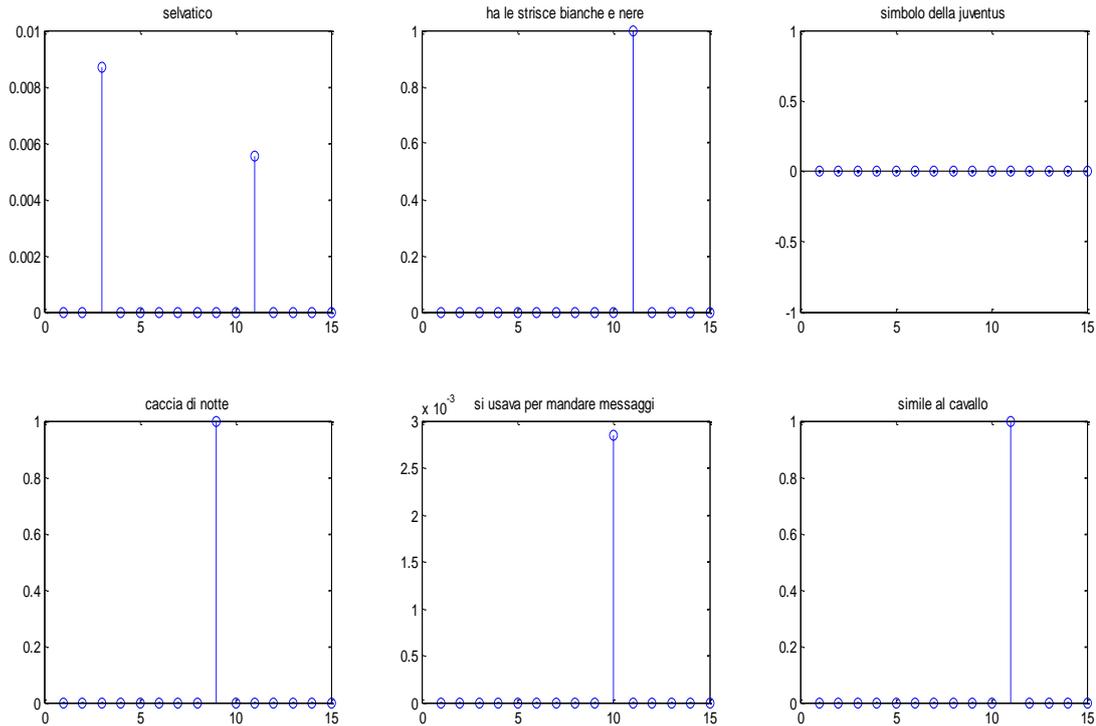
Come si può osservare dai risultati ottenuti, ogni parola è eccitata solo dalle proprietà salienti che permettono subito il riconoscimento dell'oggetto. La somma delle sinapsi dalle proprietà salienti è vicina al valore  $\Gamma_{max}$ , cioè 1, come conseguenza della normalizzazione usata in Eq. 13. Questo garantisce che tutte le proprietà salienti sono necessarie per portare ogni unità lessicale al valore di eccitazione. Infine, ogni parola è inibita da tutte le proprietà che non partecipano alla sua semantica, ma partecipano alla semantica di altre parole, (per esempio, la parola “gatto” è inibita dalla proprietà “abbaia” quando quest'ultima è attiva). Naturalmente le proprietà che capitano meno spesso delle altre, inibiscono anche meno. Resta sempre

il problema legato alla proprietà 11 (“vola”) che eccita la parola “uccello” in quanto è attribuita (per i motivi spiegati precedentemente) alla categoria “uccello”. Le sinapsi dalle proprietà “mangia” e “dorme” sono piccole, perché ogni volta che si presentano queste proprietà con la parola “cane” ad esempio, ma non c’è la parola “orso”, le sinapsi verso la parola “orso” si indebolisce. Questo indebolimento potrebbe avere effetto se ci fossero molti più animali nella tassonomia, quindi tante volte ci sarebbe “mangia” senza la parola “orso”, e questo potrebbe indebolire troppo la sinapsi da “mangia” alla parola “orso” fino a farla scomparire. In ogni caso però le proprietà “mangia” e “dorme” non devono essere in grado da sole di evocare un animale in particolare.

I grafici che riporto nel seguito, mostrano la forza delle sinapsi  $W_{j,i}^{SL}$  (in ordinata) che entrano in ognuna delle 42 proprietà dell’area semantica, dalle unità lessicali ( in ascissa) :







E' evidente che una proprietà condivisa riceve sinapsi da tutte le parole a cui appartiene (ad esempio la proprietà "mangia" riceve da tutte le 15 parole, la proprietà "ha il pelo" riceve dalle parole che corrispondono alla categoria "mammifero" e a tutti i mammiferi e ruminanti). Le sinapsi che vanno dalla parola "animale" alle proprietà "mangia" e "dorme" sono più forti rispetto alle sinapsi che vanno dalla parola "animale" verso le altre proprietà, perché nella seconda fase di addestramento è stato necessario dare in input la categoria "animale" due volte in ogni prova, per poter apprendere la categoria stessa con le sue proprietà "mangia" e "dorme", e un aumento anche del numero di prove (da 300 nella prima fase a 400 nella seconda). Questo fa sì che le sinapsi che vanno dalle altre 14 parole verso le proprietà "mangia" e "dorme" siano molto più deboli. Una proprietà distintiva riceve sinapsi eccitatorie solo da una singola parola. La forza delle sinapsi riflette la salienza, infatti notiamo che proprietà come "selvatico", "si usava per mandare messaggi", "simbolo della juventus", ricevono sinapsi talmente deboli che non bastano per evocarle. La proprietà

“vola” essendo attribuita alla categoria degli uccelli, riceve sinapsi anche dalla parola “uccello”.

#### *4.3 Simulazioni di compiti di denominazione di oggetti – Modello 1*

Il modello così addestrato è stato testato attraverso delle simulazioni di compiti di denominazione di oggetti. Durante queste prove, sono state fornite in input alla rete alcune proprietà di un oggetto (cioè alcune proprietà sono eccitate dall’input esterno, mentre altre non sono stimulate) e i risultati mostrano quali proprietà vengono spontaneamente evocate nella semantica grazie alle sinapsi auto-associative, e anche se e quale parola corrispondente viene evocata nell’area lessicale. In tabella 5 si riassumono i risultati ottenuti, in particolare nella prima colonna sono riportate le proprietà usate come input (numerate secondo la posizione nella rete semantica), nella seconda colonna sono riportate tutte le proprietà evocate nelle condizioni finali di stazionarietà, nella terza colonna è riportata la corrispondente parola (se evocata) nell’area lessicale. Nell’ultima colonna è riportato il tempo in ms richiesto per evocare una parola in base agli input dati alla rete. Il tempo di risposta è calcolato in base al superamento di una soglia nell’area lessicale di valore 0.8, per cui rappresenta l’istante in cui un neurone supera tale soglia e viene evocata la parola corrispondente. Se viene dato un input tipico al modello (una proprietà distintiva oppure tutte le proprietà salienti di un oggetto) la parola viene attivata con tempi di risposta più brevi. Se in input sono presentate solo un paio di proprietà salienti, saranno evocate prima tutte le altre proprietà salienti dello stesso oggetto e solo dopo la parola associata. Quindi il tempo di risposta dipende dai seguenti aspetti : 1) numero di proprietà salienti: meno proprietà sono date in ingresso e più lungo è il tempo di risposta; 2) presenza di proprietà distintive : una proprietà distintiva saliente è più importante di una

proprietà saliente condivisa, infatti senza proprietà distintive un oggetto non può essere riconosciuto; 3) presenza di proprietà non salienti: le proprietà marginali possono aiutare a riconoscere un oggetto, ma richiedono più tempo se non sono date in input insieme alle proprietà salienti, infatti devono prima evocare la proprietà salienti per poter riconoscere un oggetto; 4) simultanea presenza di proprietà salienti e non salienti: se le proprietà non salienti sono date in ingresso con le proprietà salienti, il tempo di risposta decresce, infatti le proprietà non salienti rappresentano una informazione aggiuntiva che riduce il tempo di risposta.

	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Word-form</b>	<b>Time (ms)</b>
<b>Categoria Animale</b>	2, 3	2, 3	Animale	6.8
	2	3	Animale	9.2
<b>Categoria Uccello</b>	14, 29	2, 3, 11, 16	Uccello	8.4
	14, 29, 16	2, 3, 11	Uccello	7.6
	14	2, 3, 11, 16, 29	Uccello	10
<b>Categoria Mammifero</b>	4	2, 3, 23	Mammifero	10.8
	4, 23	2, 3	Mammifero	8.4
	2, 3, 4, 23	2, 3, 4, 23	Mammifero	8
<b>Categoria Ruminante</b>	4, 19	2, 3, 23	Ruminante	10
	2, 3, 23	4	Mammifero	10
	2, 3, 4, 19, 23	2, 3, 4, 19, 23	Ruminante	9.6
<b>Cane</b>	2, 25	3, 4, 5, 6, 23, 34	Cane	10.4
	2, 23	3, 4	Mammifero	10
	2, 25, 5, 23, 34	3, 4, 6	Cane	8
<b>Gatto</b>	6	2, 3, 4, 23	-----	-----
	35	2, 3, 4, 6, 7, 22, 23	Gatto	10.4
	35, 4, 7, 22	2, 3, 6, 23	Gatto	7.6
<b>Orso</b>	9, 8, 4, 38	2, 3, 23	Orso	9.2
	24, 38	2, 3, 4, 8, 9, 23	Orso	11.6
	38	2, 3, 4, 23	-----	-----
<b>Pecora</b>	2, 3, 37	4, 17, 18, 19, 23	Pecora	10.4
	2, 3, 17, 18, 37	4, 23, 19	Pecora	8.4
<b>Mucca</b>	4, 20, 21	2, 3, 19, 23, 36	Mucca	7.2
	4, 2, 21, 3, 36	19, 20, 23	Mucca	7.2
<b>Zebra</b>	38, 39	2, 3, 4, 19, 23, 42	Zebra	8.8
	40	2, 3, 4, 19, 23, 39,42	Zebra	10
	4, 39, 40, 42	2, 3, 19, 23	Zebra	6.8

**Tabella 5:** (continua sotto)

	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Word-form</b>	<b>Time (ms)</b>
<b>Gallina</b>	26, 28, 29	2, 3, 11, 14, 16, 27	Gallina	9.6
	14, 26, 27, 28, 29	2, 3, 11, 16	Gallina	9.2
<b>Oca</b>	11	2, 3, 14, 16, 29	Uccello	10
	11, 15, 12	2, 3, 14, 16, 29	Oca	8.2
<b>Pappagallo</b>	3, 10, 29	2, 11, 13, 14, 16	Pappagallo	9.2
	10, 13	2, 3, 11, 14, 16, 29	Pappagallo	8.8
<b>Gufo</b>	14, 16, 41, 31	2, 3, 11, 29, 30	Gufo	10.8
	14, 16, 41, 30, 31	2, 3, 11, 29	Gufo	10.4
	31, 41	2, 3, 11, 14, 16, 29, 30	Gufo	11.2
<b>Piccione</b>	3, 33, 43	2, 11, 14, 16, 29, 32	Piccione	8
	3, 11, 32, 33, 43	2, 14, 16, 29	Piccione	7.2
	11, 32	2, 3, 14, 16, 29, 33	Piccione	8.4

***Tabella 5:** risultati di compiti di riconoscimento di oggetti diversi, nei quali alcune proprietà sono date in ingresso alla rete semantica e le parole sono evocate dalla rete lessicale. La prima colonna mostra le proprietà date in input. La seconda mostra le proprietà emergenti in condizioni finali di stazionarietà. La terza la parola evocata corrispondente alla rappresentazione semantica dell'oggetto. L'ultima colonna riporta il tempo (in ms) richiesto per evocare la parola associata a ciascun oggetto.*

Dai risultati si evince che se solo alcune proprietà condivise sono date in input, la rete riconosce correttamente la categoria corrispondente, e non evoca le proprietà distintive dei singoli oggetti; se sono stimulate le proprietà distintive, la rete riconosce l'oggetto corrispondente; le proprietà non salienti giocano un ruolo importante nel riconoscimento di un oggetto, purché stimulate dall'input esterno, dato che non sono evocate dalle altre proprietà; il tempo necessario per evocare una parola dipende dall'input usato, in genere quando le proprietà non salienti sono date in ingresso, il tempo aumenta, poiché tali proprietà devono evocare le proprietà salienti prima che la parola associata sia evocata.

#### 4.4 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole – Modello 1

In queste simulazioni viene stimolata ogni parola nell'area lessicale, e si osserva quali proprietà sono evocate nell'area semantica. Una parola è correttamente riconosciuta se riesce ad evocare tutte le proprietà salienti che fanno parte della sua semantica. I risultati riportati nella tabella 6 confermano che ogni parola corrispondente ad un oggetto evoca tutte le sue proprietà salienti, e che le parole che rappresentano le categorie non evocano mai le proprietà distintive dei membri individuali.

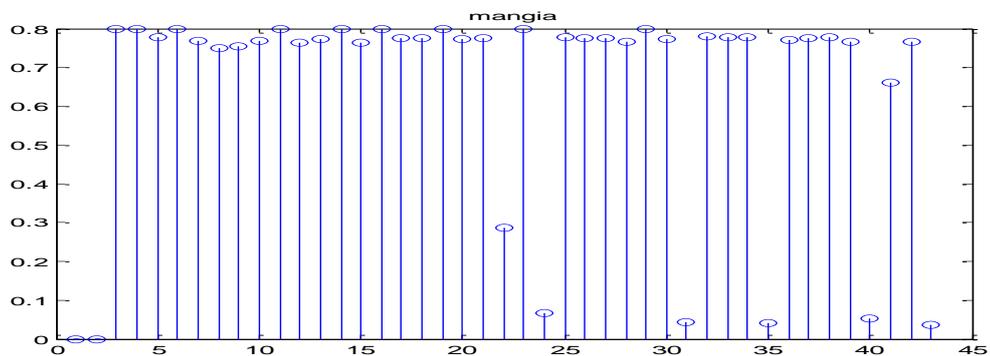
Word-form	Features
Animale	2, 3
Mammifero	2, 3, 4, 23
Uccello	2, 3, 11, 14, 16, 29
Ruminante	2, 3, 4, 19, 23
Cane	2, 3, 4, 5, 6, 23, 25, 34
Gatto	2, 3, 4, 6, 7, 22, 23
Orso	2, 3, 4, 8, 9, 23
Pecora	2, 3, 4, 17, 18, 19, 23, 37
Mucca	2, 3, 4, 19, 20, 21, 23, 36
Pappagallo	2, 3, 10, 11, 13, 14, 16, 29
Oca	2, 3, 11, 12, 14, 15, 16, 29
Gallina	2, 3, 11, 14, 16, 26, 27, 28, 29
Gufo	2, 3, 11, 14, 16, 29, 30, 41
Piccione	2, 3, 11, 14, 16, 29, 32, 33
Zebra	2, 3, 4, 19, 23, 39, 42

**Tabella 6:** risultati di diversi compiti di riconoscimento di parole, nei quali una parola è data in input alla rete lessicale, e le proprietà corrispondenti emergono dalla rete semantica in modo dinamico. Occorre notare che le proprietà non salienti (percentuale minore del 70%) non sono evocate.

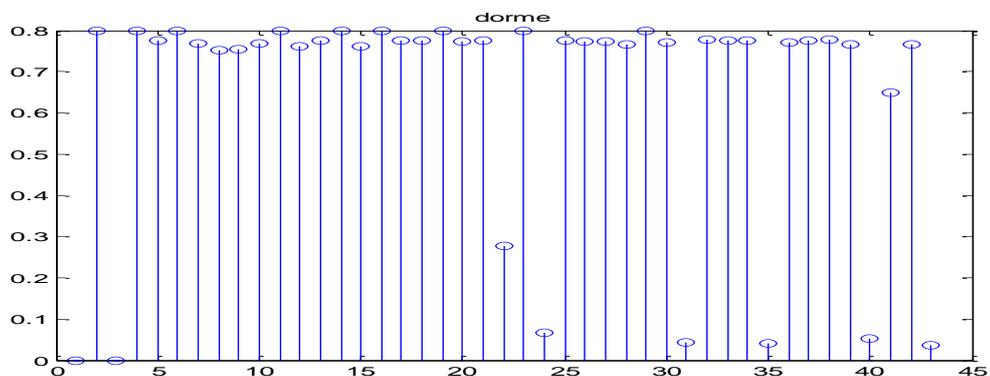
Prima di proseguire con i risultati ottenuti per il modello 2, è opportuno fare alcune considerazioni sul ruolo svolto dalla soglia post-sinaptica all'interno dell'area semantica. Tutte le sinapsi  $W_{j,i}^{SS}$  sono state ottenute usando una soglia post-sinaptica uguale a 0.7 ( $\theta_{post}^{SS}$  in Eq. 8), questo significa che una proprietà è saliente quando si verifica più del 70% delle

volte. Nella versione bidimensionale del modello era stato usato un valore di soglia pari a 0.5, un valore di 0.5 nel modello attuale non può andare bene perché le proprietà dei mammiferi, capitando 6 volte su 11, cioè più del 50% delle volte, diventerebbero salienti per ogni animale (quindi anche per gli uccelli). Un valore di 0.7 costringe però a usare tutte frequenze alte (sono quasi tutte 0.8) affinché una proprietà sia saliente. Di seguito sono riportati alcuni grafici che mostrano cosa accade abbassando la frequenza (al di sotto del 70%) per certe proprietà. In particolare ho attribuito alle proprietà “mangia” e “dorme”, una frequenza di occorrenza del 50% (mentre prima era l’80%), e alla proprietà “miagola” una frequenza di occorrenza del 60% (prima era l’80%).

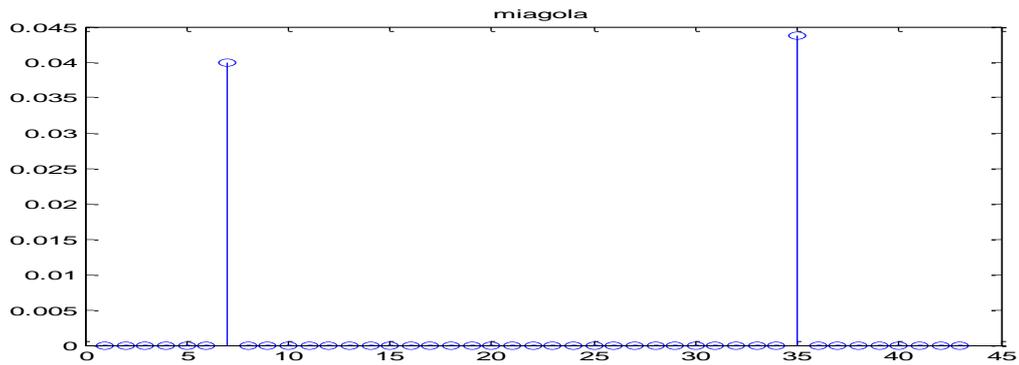
### “Mangia”



### “Dorme”

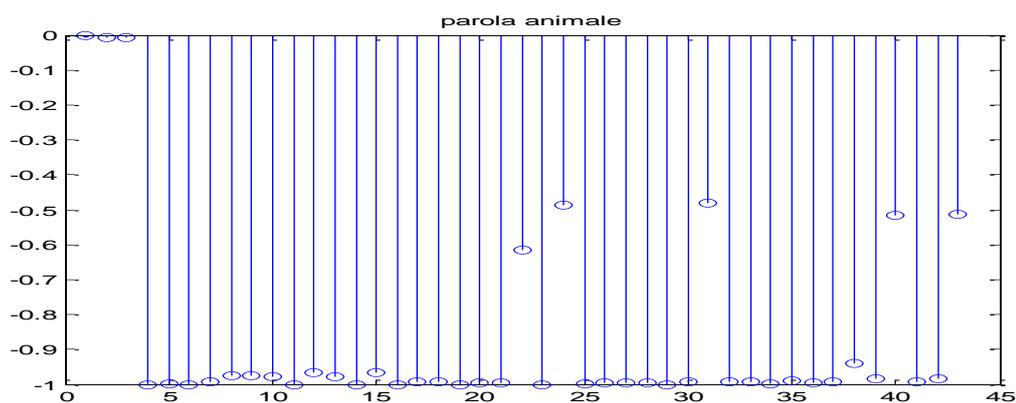


## “Miagola”

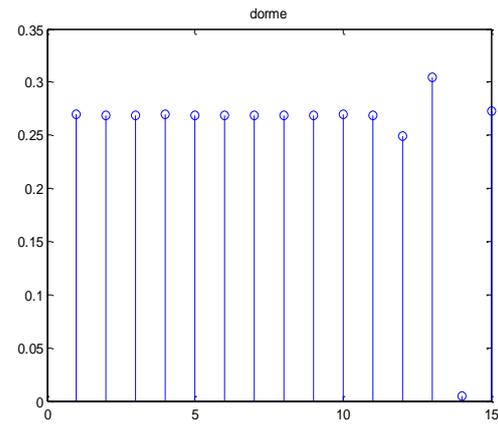
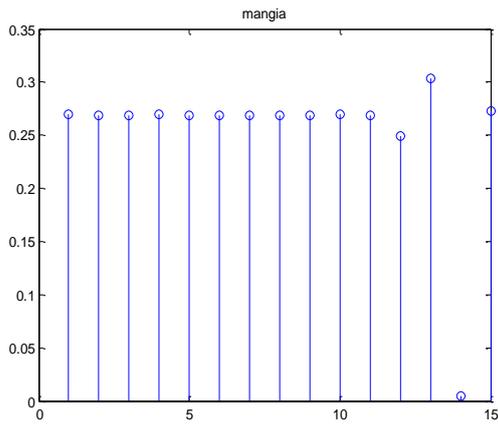


I grafici sopra mostrano le sinapsi  $W_{j,i}^{SS}$ . Quello che si nota è che le proprietà “mangia” e “dorme” continuano a ricevere sinapsi forti dalle altre proprietà (sinapsi più deboli dalle proprietà non salienti), quindi sono facilmente evocate all’interno della semantica. La proprietà distintiva “miagola” riceve sinapsi troppo deboli dalle altre due proprietà distintive del gatto, per cui non può essere evocata. Vediamo ora cosa accade nell’area lessicale per le sinapsi  $W_{j,i}^{LS}$  e  $W_{j,i}^{SL}$  :

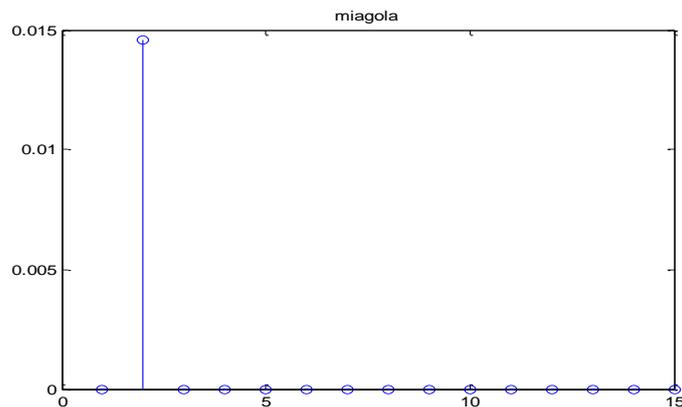
## Categoria “Animale”



La parola “animale” non è più eccitata dalle proprietà “mangia” e “dorme”, quindi la rete addestrata non è in grado di formare la categoria “Animale”.



Le proprietà “mangia” e “dorme” non ricevono più l’eccitazione dalla parola “animale”.



La proprietà “miagola” riceve una sinapsi debolissima dalla parola ”gatto”, perché con una percentuale del 60% è diventata una proprietà distintiva non saliente.

Il modello 1 presenta un difetto (oltre al fatto che la proprietà “vola” viene attribuita alla gallina e alla categoria degli uccelli) che riguarda la proprietà “mangia erba” che forma da sola la sottocategoria “Ruminante”. Tale proprietà ha una percentuale di occorrenza nell’area semantica dell’80%, ma nell’area lessicale per l’apprendimento della categoria corrispondente, è stato necessario attribuire ad essa una frequenza diversa, pari al 95%, in quanto con solo l’80% non si crea la sinapsi eccitatoria tra la proprietà

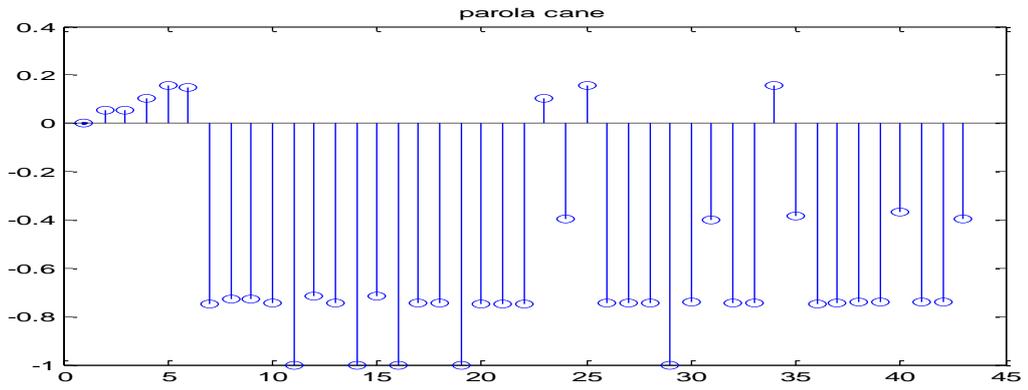
“mangia erba” e la parola “ruminante”, nonostante una percentuale maggiore di 0.7. Quello che succede infatti, è che la rete crea tale sinapsi ogni volta che si presenta la proprietà “mangia erba” insieme alla parola “ruminante”, ma ogni volta che si presentano la zebra, la mucca e la pecora in cui c’è la proprietà “mangia erba” ma non la parola “ruminante”, la sinapsi si indebolisce, e questo indebolimento si verifica 3 volte su 4.

#### *4.5 Risultati Modello 2 – Fase 2*

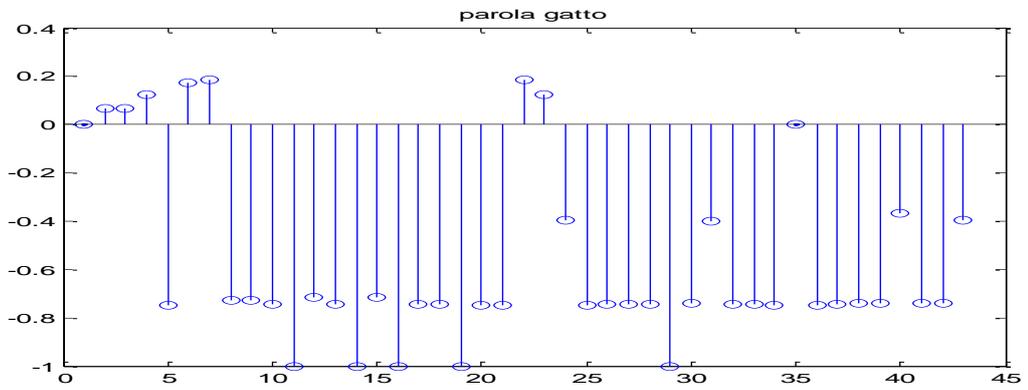
Nel modello 2 come già spiegato nelle fasi di addestramento, ho adottato una variante per la fase 2, durante la quale le categorie sono apprese dando in input alla rete esempi di animali, comprese le proprietà distintive, e non solo le proprietà condivise che caratterizzano la categoria. Quindi in ingresso alla rete viene data non solo la parola corrispondente al singolo individuo con le sue proprietà, ma anche le parole che corrispondono alla categoria di appartenenza dei membri individuali. In ogni prova dunque, la parola “uccello” viene data 5 volte con 5 uccelli diversi; la parola “mammifero” è data 6 volte con 6 mammiferi diversi; la parola “animale” è data 11 volte con tutti gli undici animali; in questo modo la rete dovrà essere in grado di trovare le proprietà comuni agli oggetti che determinano le categorie. I grafici presentati di seguito sono relativi soltanto alla fase 2 di addestramento, poiché la fase 1 è stata addestrata allo stesso modo del modello 1, dando gli stessi risultati finali.

Vediamo prima le sinapsi  $W_{j,i}^{LS}$  :

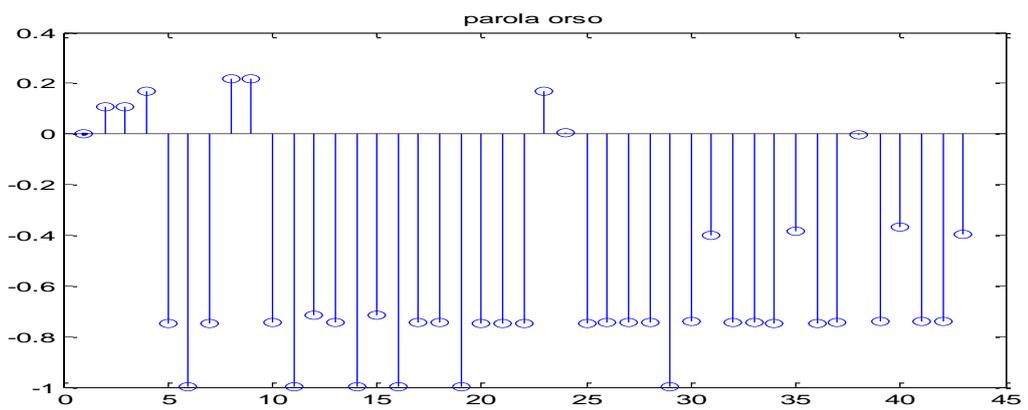
## “Cane”



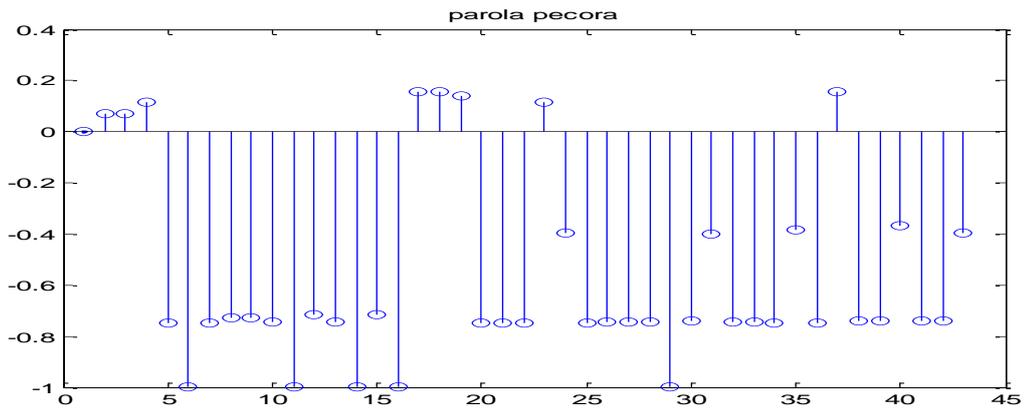
## “Gatto”



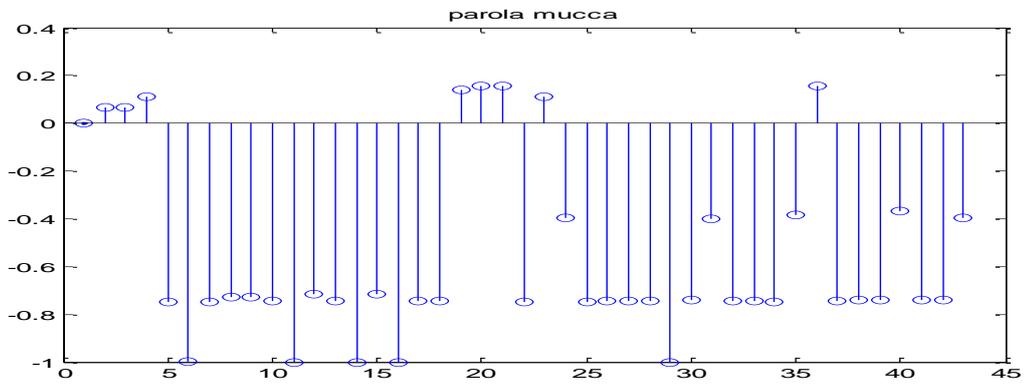
## “Orso”



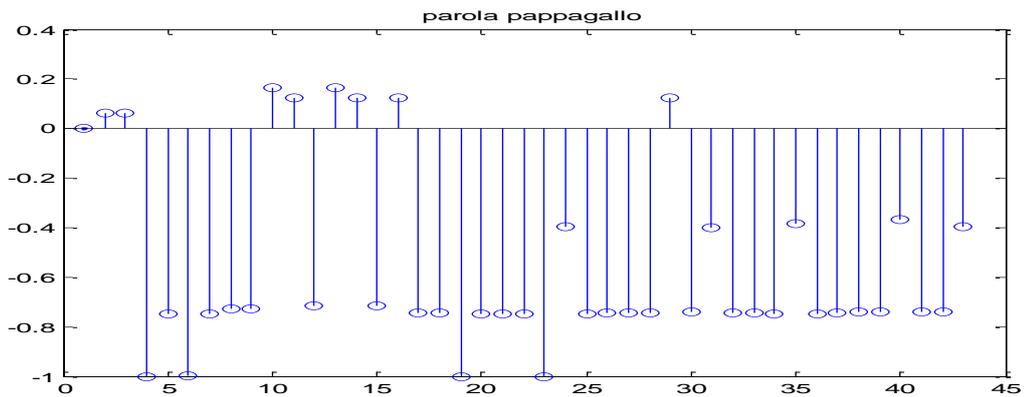
# “Pecora”



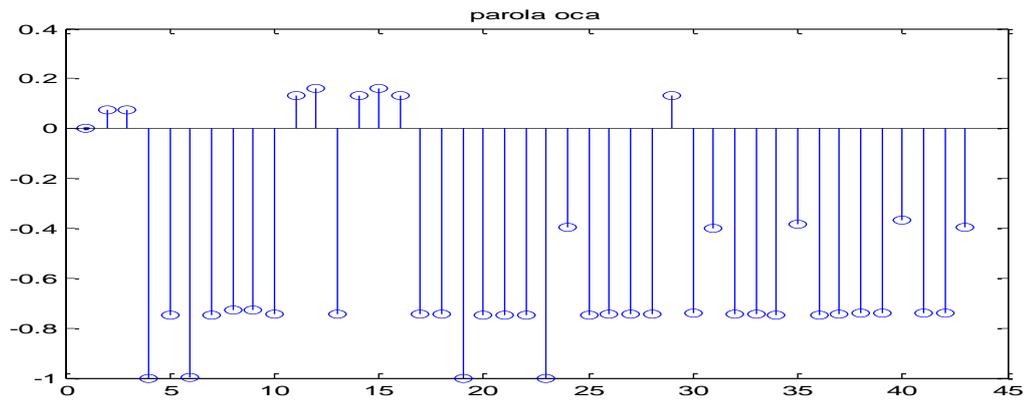
# “Muca”



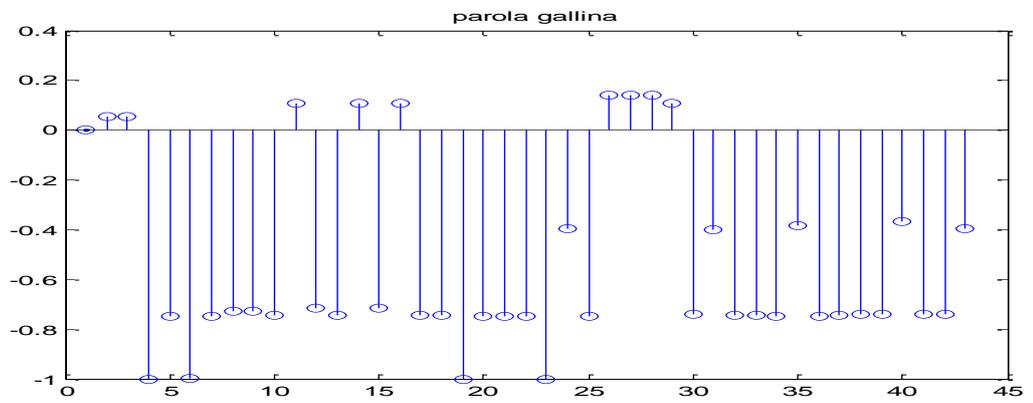
# “Pappagallo”



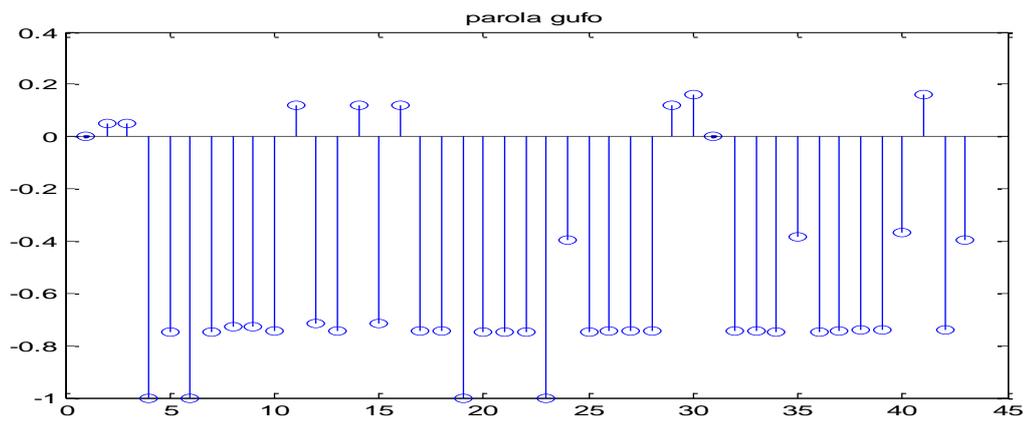
## “Oca”



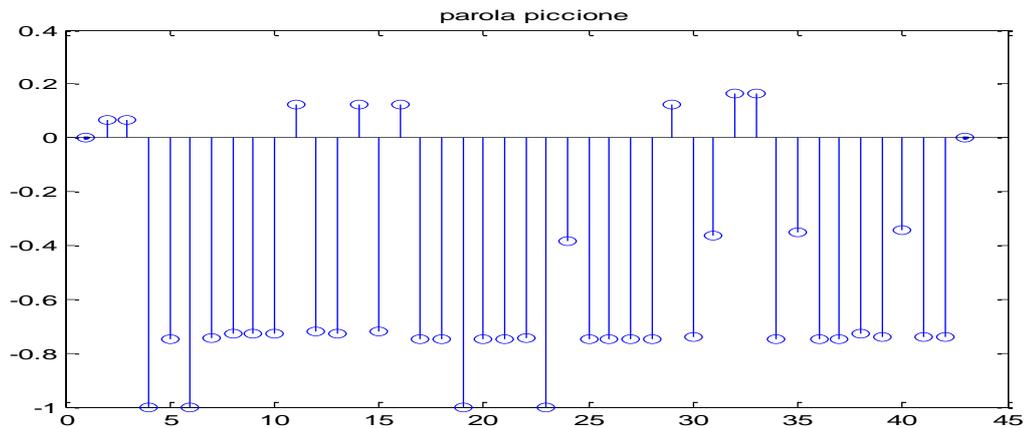
## “Gallina”



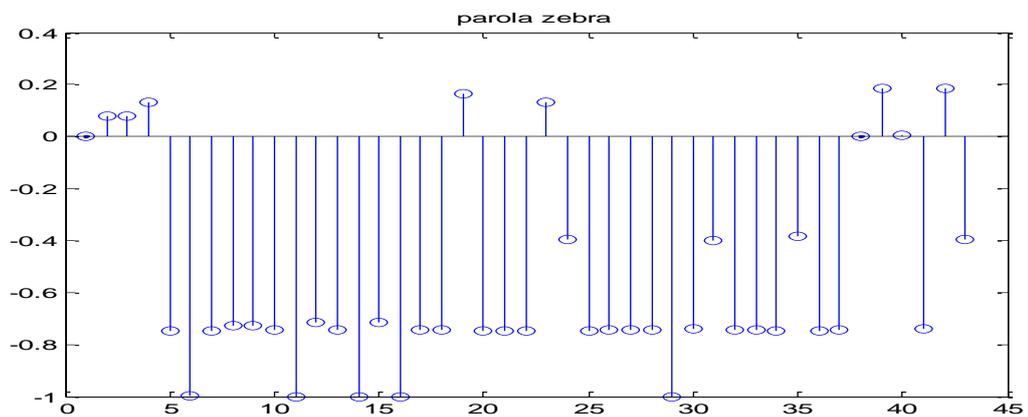
## “Gufo”



## “Piccione”



## “Zebra”

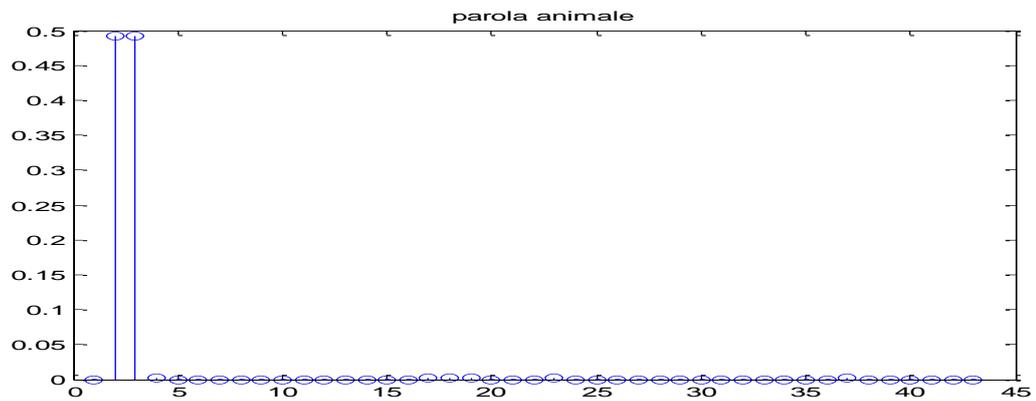


Come si può notare dai grafici, i risultati ottenuti per le sinapsi che vanno dalle proprietà a ciascuna parola, sono analoghi a quelli ottenuti per le stesse sinapsi nel modello 1. Quindi, ogni parola è stimolata solo dalle sue proprietà salienti, e la somma di queste è uguale al valore  $\Gamma_{max} = 1$ , valore minimo di eccitazione per portare una word-form alla saturazione. Infine, ogni parola è inibita da tutte le proprietà che non partecipano alla sua semantica, quelle che capitano più spesso inibiscono anche maggiormente. Le singole sinapsi inibitorie saturano al valore + 1 (ricordo che nei grafici è mostrata la quantità  $W_{j,i}^{LS} - V_{j,i}^{LS}$ , per cui quando una proprietà inibisce una parola, la sinapsi eccitatoria è 0, mentre il valore di saturazione della

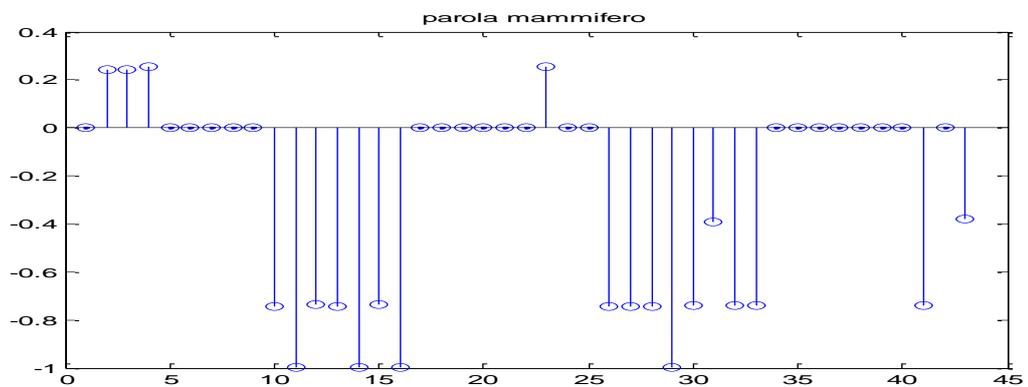
sinapsi inibitoria diventa -1). Vediamo ora i grafici relativi alle sinapsi

$W_{j,i}^{LS}$  per le parole corrispondenti alle categorie :

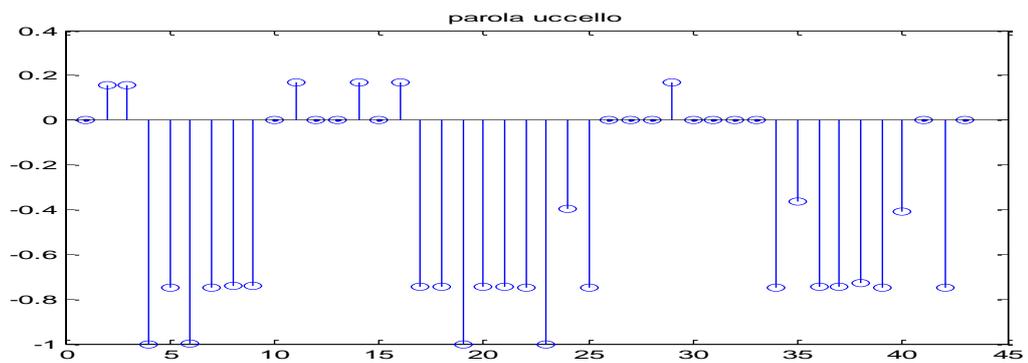
### Categoria “Animale”



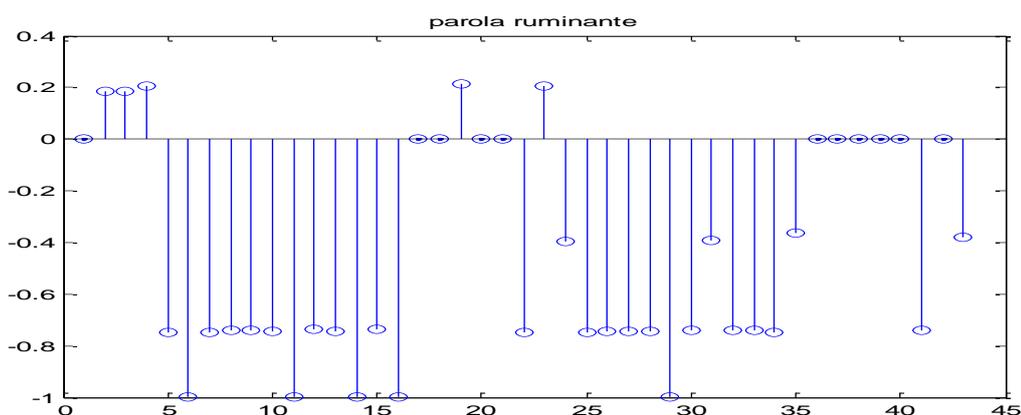
### Sottocategoria “Mammifero”



### Sottocategoria “Uccello”



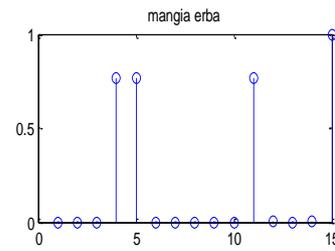
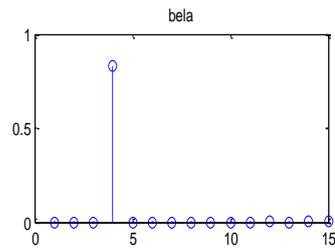
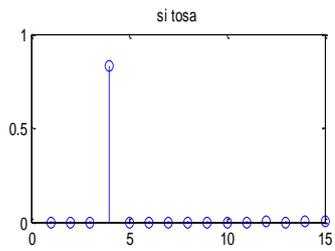
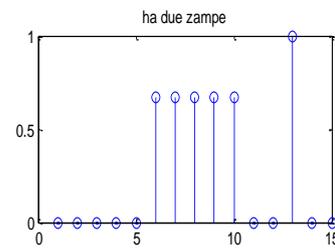
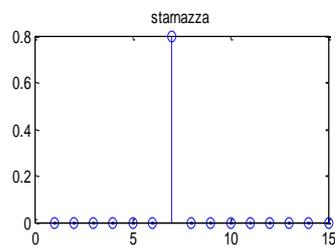
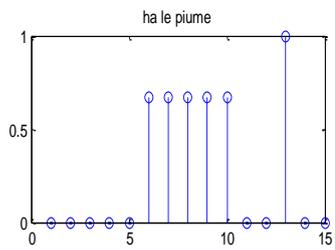
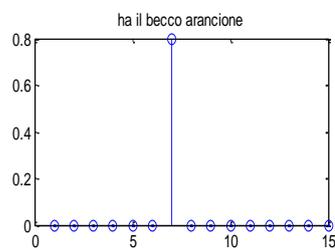
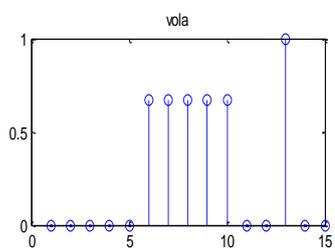
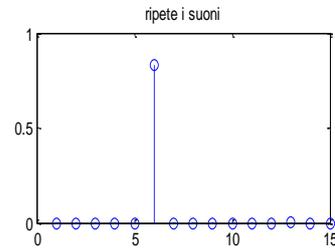
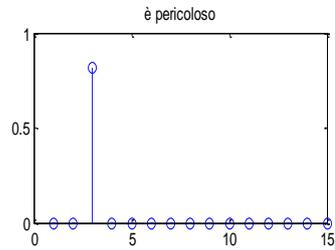
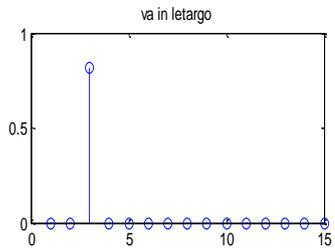
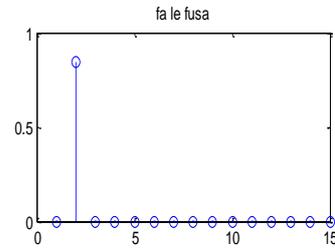
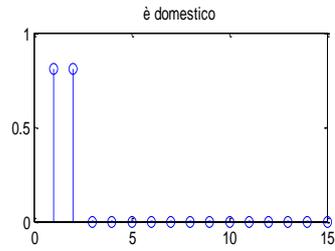
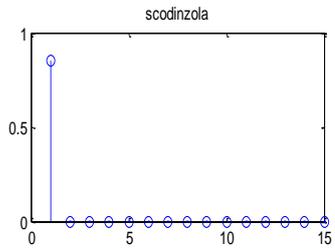
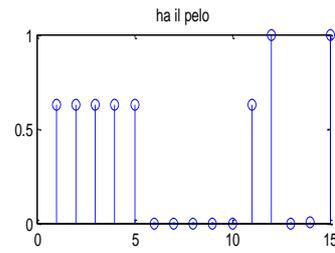
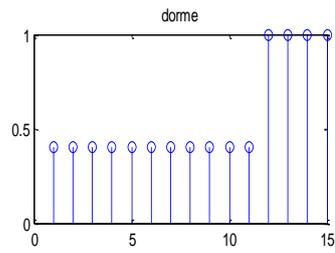
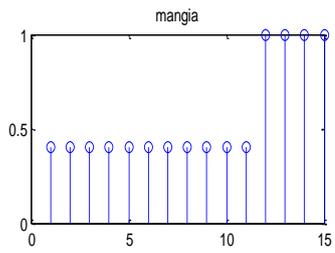
## Sottocategoria “Ruminante”

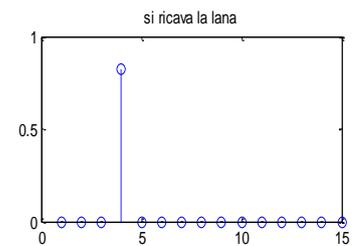
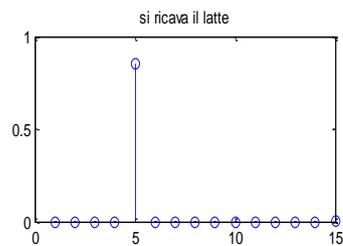
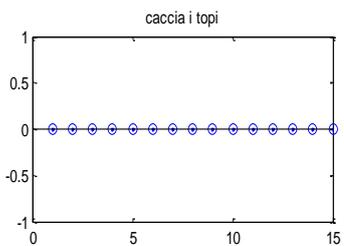
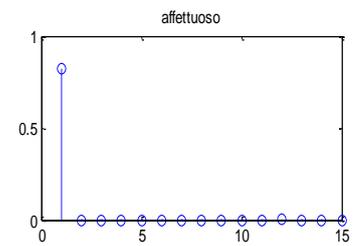
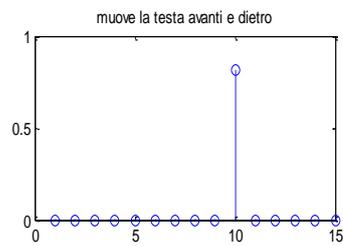
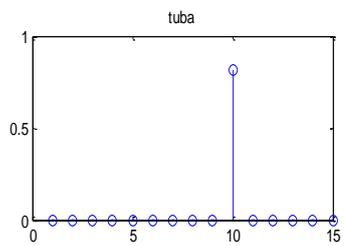
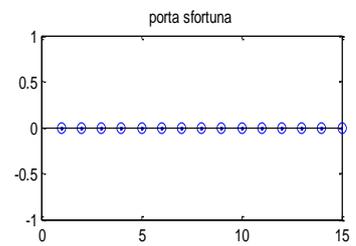
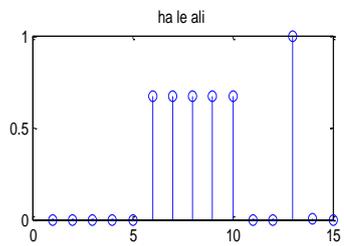
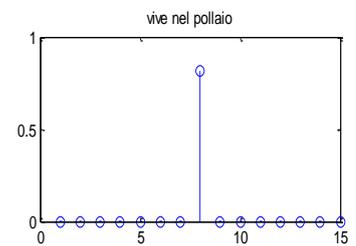
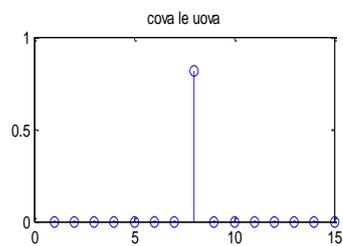
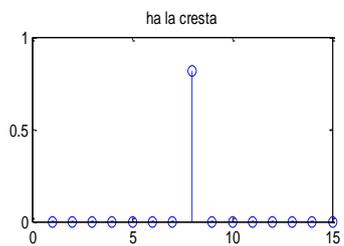
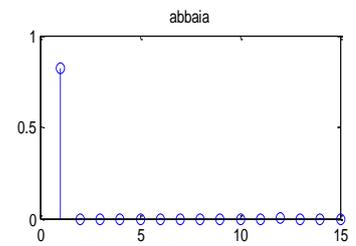
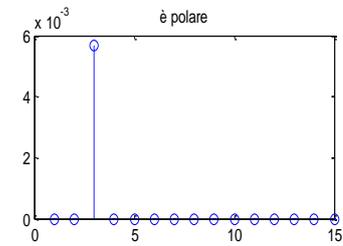
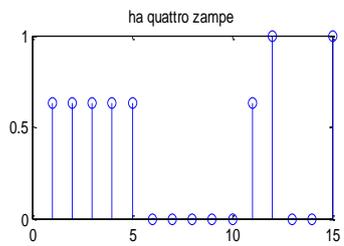
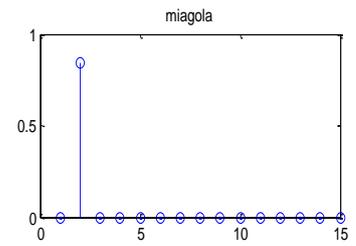
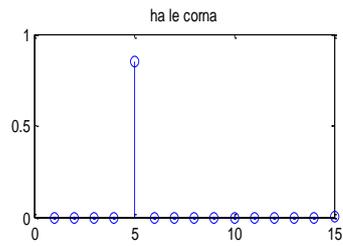
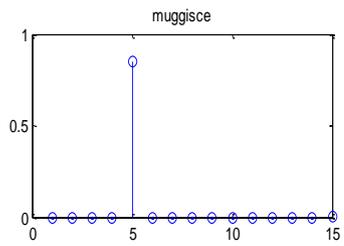


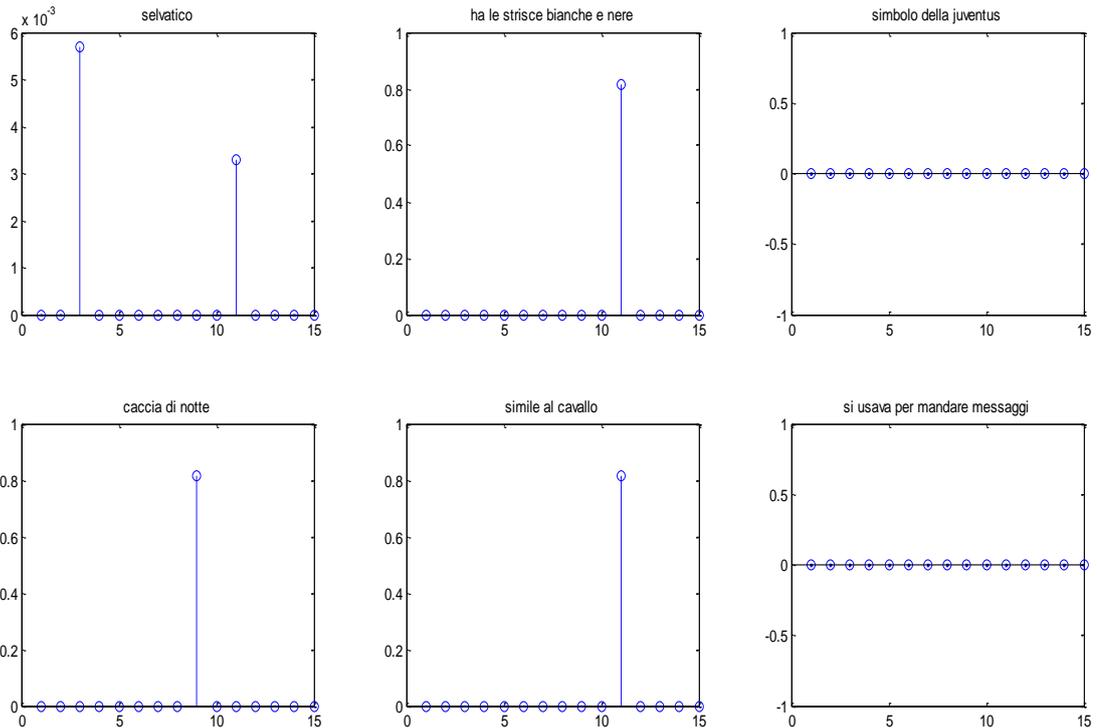
Osservando i risultati si nota che, rispetto al modello 1, le parole che rappresentano le categorie non ricevono più sinapsi inibitorie dalle proprietà distintive degli animali che appartengono a quella categoria specifica. Quindi, la parola “animale” è stimolata dalle sue proprietà “mangia” e “dorme”, ma non è inibita dalle proprietà distintive di tutti gli animali; la parola “mammifero” è evocata dalle proprietà “mangia”, “dorme”, “ha il pelo”, “ha quattro zampe”, e non è più inibita dalle proprietà distintive degli animali che appartengono alla categoria del mammifero; la parola “uccello” è evocata dalle proprietà “mangia”, “dorme”, “ha le piume”, “ha due zampe”, “vola”, “ha le ali”, e non è più inibita dalle proprietà distintive degli animali che appartengono alla categoria dell’ uccello; la parola “ruminante” è stimolata dalle proprietà “mangia”, “dorme”, “mangia erba”, “ha il pelo”, “ha quattro zampe”, e non riceve più sinapsi inibitorie dalle proprietà distintive degli animali che fanno parte della categoria del ruminante. Questo significa che se in input alla rete si presentano le proprietà di un animale, ad esempio il cane che è un mammifero, viene evocata non solo la parola “cane” ma anche le parole “mammifero” e “animale”; se l’input è un uccello viene richiamata sia la parola di quell’uccello che le parole “uccello” e “animale”; se l’input è un ruminante viene evocata la parola corrispondente a quel ruminante e le

parole “animale”, “ruminante”, “mammifero”. Se si volesse solo in uscita la parola “cane” oppure solo la parola “animale” o solo la parola “mammifero”, si dovrebbe implementare un meccanismo nell’area lessicale tale che a seconda del bisogno permane una delle tre parole. Ci sono infatti dei compiti cognitivi in cui al soggetto viene fatto vedere un animale e deve rispondere solo con il nome della categoria a cui appartiene (animale o mammifero), ma non col nome di quell’animale. Nel modello 1 una proprietà manda una sinapsi inibitoria a tutte le parole che non sono attive simultaneamente durante l’esperienza passata, questo evita che la rappresentazione concettuale di un membro in una categoria attivi non solo la sua parola, ma anche le parole corrispondenti al concetto superordinato, cioè alla categoria di appartenenza (per esempio, un concetto che contiene la proprietà “abbaia”, attiva soltanto la word-form “cane”, nonostante la presenza di altre proprietà come “ha il pelo”, “ha quattro zampe” ecc... comuni alla word-form “mammifero” ). Nel modello 2 invece, le proprietà di un oggetto sono attive contemporaneamente non solo con la parola associata al nome di quell’oggetto, ma anche con le parole corrispondenti al nome della categoria a cui l’oggetto appartiene, per cui addestrando la rete presentando un cane e dicendo che è anche un mammifero, se dopo in input si presenta il cane con alcune sue proprietà come “scodinzola”, le parole evocate saranno “cane” e “mammifero”, non essendoci più le inibizioni dalle proprietà distintive del cane verso la categoria “mammifero”.

Vediamo ora i grafici relativi alle sinapsi  $W_{j,i}^{SL}$ :







Le sinapsi che vanno dalle parole “animale” ,”mammifero”, “uccello”, “ruminante”, verso le proprietà “mangia” e “dorme”, sono più forti perché capitano più spesso insieme, infatti la parola “animale” capita ogni volta con “mangia” e “dorme”; la parola “mammifero” è attiva con “mangia “ e “dorme” 6 volte su 11; la parola “uccello” capita con “mangia” e “dorme” 5 volte su 11; la parola “ruminante” è attiva con mangia” e “dorme” 3 volte su 11. Ogni singola sinapsi satura al valore 1 come nel modello 1, inoltre come si osserva dai grafici, anche nel modello 2 permane il problema della proprietà ” vola” che viene attribuita alla categoria uccello e quindi anche alla gallina, immaginando che la gallina stessa, pur non avendola mai vista volare, prima o poi volerà. Per estrarre le proprietà comuni della categoria “ruminante”, non è stato necessario in questo modello variare la frequenza di occorrenza della proprietà “mangia erba”, che quindi sia nell’area semantica che lessicale si verifica l’80% delle volte.

#### *4.6 Simulazioni di compiti di denominazione di oggetti – Modello 2*

Il modello 2 è stato testato attraverso prove di simulazione di tasks cognitivi in cui la rete, date alcune proprietà di un oggetto in input, deve essere in grado di richiamare la parola corrispondente. Nel caso di riconoscimento di un oggetto, sarà però evocata non solo la parola corrispondente al nome dell'oggetto stesso, ma anche le parole associate alle categorie a cui l'oggetto appartiene. Nella tabella 7 sono riportati i risultati ottenuti per tutti gli 11 animali, evidenziando quali sono le proprietà spontaneamente evocate in uscita dalla rete, e se e quali sono le parole corrispondenti richiamate nell'area lessicale. La prima colonna mostra le proprietà date in ingresso alla rete (sono le stesse usate per le simulazioni del modello 1) ; la seconda colonna mostra le proprietà evocate nella semantica; la terza colonna visualizza le eventuali parole richiamate nell'area lessicale; l'ultima colonna riporta il tempo in ms richiesto per evocare le word-forms (calcolato in base al superamento di una soglia = 0.8).

	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Word-forms</b>	<b>Time (ms)</b>
<b>Cane</b>	2, 25	3, 4, 5, 6, 24, 34	Animale	7.6
			Mammifero	8.4
			Cane	9.2
	2, 23	3, 4	Animale	7.6
			Mammifero	8
			-----	-----
	2, 25, 5, 23, 34	3, 4, 6	Animale	7.2
			Mammifero	6.8
			Cane	7.2
<b>Gatto</b>	6	2, 3, 4, 23	Animale	10
			Mammifero	9.6
			-----	-----
	35	2, 3, 4, 6, 7, 22, 23	Animale	10.8
			Mammifero	10.4
			Gatto	11.6
	35, 4, 7, 22	2, 3, 6, 23	Animale	7.6
			Mammifero	7.2
			Gatto	8.4
<b>Orso</b>	9, 8, 4, 38	2, 3, 23	Animale	7.6
			Mammifero	7.2
			Orso	8
	24, 38	2, 3, 4, 8, 9, 23	Animale	8.8
			Mammifero	8.4
			Orso	10
	38	2, 3, 4, 23	Animale	10
			Mammifero	9.6
			-----	
<b>Pecora</b>	2, 3, 37	4, 17, 18, 19, 23	Animale	6.8
			Mammifero	8
			Pecora	9.2
			Ruminante	8.4
	2, 3, 17, 18, 37	4, 23, 19	Animale	6.8
			Mammifero	6.8
			Pecora	7.2
			Ruminante	7.2

**Tabella 7:** (continua sotto)

	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Word-forms</b>	<b>Time (ms)</b>
<b>Mucca</b>	4, 20, 21	2, 3, 19, 23, 36	Animale	7.6
			Mammifero	7.2
			Ruminante	7.2
			Mucca	8.4
	4, 2, 21, 3, 36	19, 20, 23	Animale	6.8
			Mammifero	6.8
			Ruminante	7.2
			Mucca	8.4
<b>Zebra</b>	38, 39	2, 3, 4, 19, 23, 42	Animale	8
			Mammifero	8
			Ruminante	8.4
			Zebra	8.4
	40	2, 3, 4, 19, 23, 39	Animale	10.8
			Mammifero	10.4
			Ruminante	10
			Zebra	10
	4, 39, 40, 42	2, 3, 19, 23	Animale	7.6
			Mammifero	7.2
			Ruminante	7.2
			Zebra	7.2
<b>Gallina</b>	26, 28, 29	2, 3, 11, 14, 16, 27	Animale	7.6
			Uccello	7.2
			Gallina	7.6
	14, 26, 27, 28, 29	2, 3, 11, 16	Animale	7.6
			Uccello	7.2
			Gallina	7.2
<b>Oca</b>	11	2, 3, 14, 16, 29	Animale	10
			Uccello	9.2
			.....	
	11, 15, 12	2, 3, 14, 16, 29	Animale	7.6
			Uccello	7.2
			Oca	8

	<b>Input</b>	<b>Output</b>	<b>Word-forms</b>	<b>Time (ms)</b>
<b>Pappagallo</b>	3, 10, 29	2, 11, 13, 14, 16	Animale	7.2
			Uccello	7.6
			Pappagallo	8
	10, 13	2, 3, 11, 14, 16, 29	Animale	8.4
			Uccello	8
			Pappagallo	7.6
<b>Gufo</b>	14, 16, 41, 31	2, 3, 11, 29, 30	Animale	7.6
			Uccello	7.2
			Gufo	8.8
	14, 16, 41, 30, 31	2, 3, 11, 29	Animale	7.6
			Uccello	7.2
			Gufo	8.4
	31, 41	2, 3, 11, 14, 16, 29, 30	Animale	8.8
			Uccello	8.4
			Gufo	9.2
<b>Piccione</b>	3, 33, 43	2, 11, 14, 16, 29, 32	Animale	7.6
			Uccello	7.6
			Piccione	7.6
	3, 11, 32, 33, 43	2, 14, 16, 29	Animale	7.2
			Uccello	7.2
			Piccione	6.8
	11, 32	2, 3, 14, 16, 29, 33	Animale	8.4
			Uccello	7.6
			Piccione	8

**Tabella 7:** risultati di compiti di riconoscimento di oggetti, in cui alcune proprietà sono date in ingresso alla rete (prima colonna), altre sono spontaneamente evocate nell'area semantica (seconda colonna) insieme alle parole corrispondenti nell'area lessicale (terza colonna). Nell'ultima colonna sono riportati i ms richiesti per evocare ciascuna parola associata a un oggetto.

Dai risultati ottenuti, si deduce che le parole che sono evocate per prime, in risposta ad alcune proprietà, sono quelle che corrispondono alle categorie, soltanto dopo sono richiamate le parole associate al nome dell'oggetto. In particolare, se in input sono presentate proprietà distintive di un animale insieme a proprietà comuni alla categoria "animale", la parola evocata per prima è "animale", seguita dalla parola della sottocategoria (come "mammifero") e poi il nome del particolare animale; se invece sono date in

ingresso proprietà della categoria “animale” e “mammifero” viene evocata prima la parola “animale”, poiché è sempre attiva durante ogni prova di addestramento; se viene data una proprietà comune a due oggetti (come “domestico”) viene evocata prima la parola “mammifero” e poi “animale”, senza però riconoscere il tipo di animale; se sono date in input tutte le proprietà della categoria “animale” con altre proprietà, viene evocata prima la parola “animale”; se sono date solo proprietà distintive viene evocata prima la parola associata alla sottocategoria, tranne nel caso del pappagallo la cui parola è evocata per prima, e la gallina, la cui parola è evocata insieme alla parola “animale”. Confrontando i tempi di risposta del modello 2, necessari per evocare le parole che corrispondono al nome di un oggetto, con quelli del modello 1, risulta che addestrando la rete fornendo esempi di animali per far apprendere le categorie (modello 2), le parole sono evocate prima, tranne per il gatto e la mucca.

#### *4.7 Simulazioni di compiti di riconoscimento di parole – Modello 2*

Durante queste prove è stata data in input alla rete lessicale la parola corrispondente al nome dell’oggetto, osservando quali proprietà sono evocate nell’area semantica e quali parole corrispondenti alla categoria di appartenenza sono richiamate a loro volta nell’area lessicale. In tabella 8 sono riportati i risultati ottenuti : nella prima colonna sono presenti tutte le parole date in input alla rete; la seconda colonna mostra tutte le proprietà evocate associate ad ogni parola; la terza colonna mostra quali sono le parole evocate che rappresentano le categorie (numerare secondo la posizione nell’area lessicale). Analogamente al modello 1, anche per il modello 2 i risultati evidenziano che ogni parola evoca tutte le sue proprietà salienti, e le proprietà distintive non sono mai evocate dalle parole associate alle categorie. La differenza con il modello 1 è che questa

volta la parola che identifica un oggetto richiama anche le parole che identificano le categorie a cui l'oggetto appartiene, poiché ricordo che nella fase 2 del modello 2 le sinapsi  $W_{j,i}^{SL}$ ,  $W_{j,i}^{LS}$  e  $V_{j,i}^{LS}$  sono apprese presentando alla rete ogni oggetto con le sue proprietà insieme alle parole che rappresentano sia il nome dell'oggetto che la categoria di appartenenza.

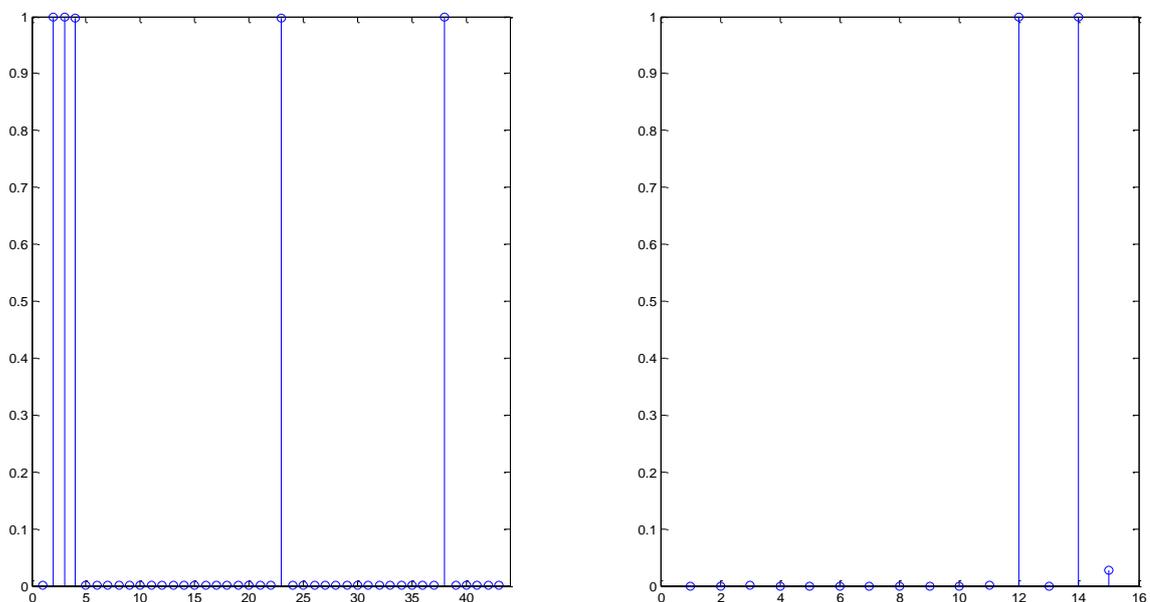
Word-form	Features	Word-form output
Animale	2, 3	.....
Mammifero	2, 3, 4, 23	14
Uccello	2, 3, 11, 14, 16, 29	14
Ruminante	2, 3, 4, 19, 23	12, 14
Cane	2, 3, 4, 5, 6, 23, 25, 34	12, 14
Gatto	2, 3, 4, 6, 7, 22, 23	12, 14
Orso	2, 3, 4, 8, 9, 23	12, 14
Pecora	2, 3, 4, 17, 18, 19, 23, 37	12, 14, 15
Mucca	2, 3, 4, 19, 20, 21, 23, 36	12, 14, 15
Pappagallo	2, 3, 10, 11, 13, 14, 16, 29	13, 14
Oca	2, 3, 11, 12, 14, 15, 16, 29	13, 14
Gallina	2, 3, 11, 14, 16, 26, 27, 28, 29	13, 14
Gufo	2, 3, 11, 14, 16, 29, 30, 41	13, 14
Piccione	2, 3, 11, 14, 16, 29, 32, 33	13, 14
Zebra	2, 3, 4, 19, 23, 39, 42	12, 14, 15

**Tabella 8:** risultati di compiti di riconoscimento di parole, in cui una parola è data come input alla rete lessicale, e si valutano le corrispondenti proprietà che emergono nell'area semantica insieme alle parole evocate nell'area lessicale che identificano le categorie. Sono evocate solo le proprietà salienti (frequenza di occorrenza maggiore del 70%).

Come si nota dalla tabella, dando in ingresso solo la parola corrispondente alla categoria “animale”, non viene evocata nessun'altra parola, mentre dando in ingresso le parole corrispondenti alle sottocategorie “mammifero” e “uccello” è evocata anche la parola “animale”; se in input è data la parola “ruminante” sono evocate anche le parole associate alle sottocategorie “mammifero” e “animale”.

Di seguito mostrerò esempi di simulazione durante i quali sono date in input alla rete alcune word-forms insieme ad alcune features, per verificare quali altre parole e proprietà sono evocate e quindi se un oggetto è riconosciuto. I grafici sono due, quello a sinistra rappresenta l'area semantica, quello a destra l'area lessicale. Nel primo esempio è stata data in input la parola “animale” (14) insieme alla proprietà “selvatico”(38) che appartiene sia alla zebra che all'orso. Si vede che le proprietà evocate nella semantica sono quelle della categoria “animale” e “mammifero” (2, 3, 4, 23) e la parola evocata nell'area lessicale è “mammifero” (il piccolo residuo dalla parola “ruminante” è ininfluenza). Dunque la rete riesce a capire che si tratta di un mammifero ma non è in grado, giustamente, di capire di quale animale si tratta.

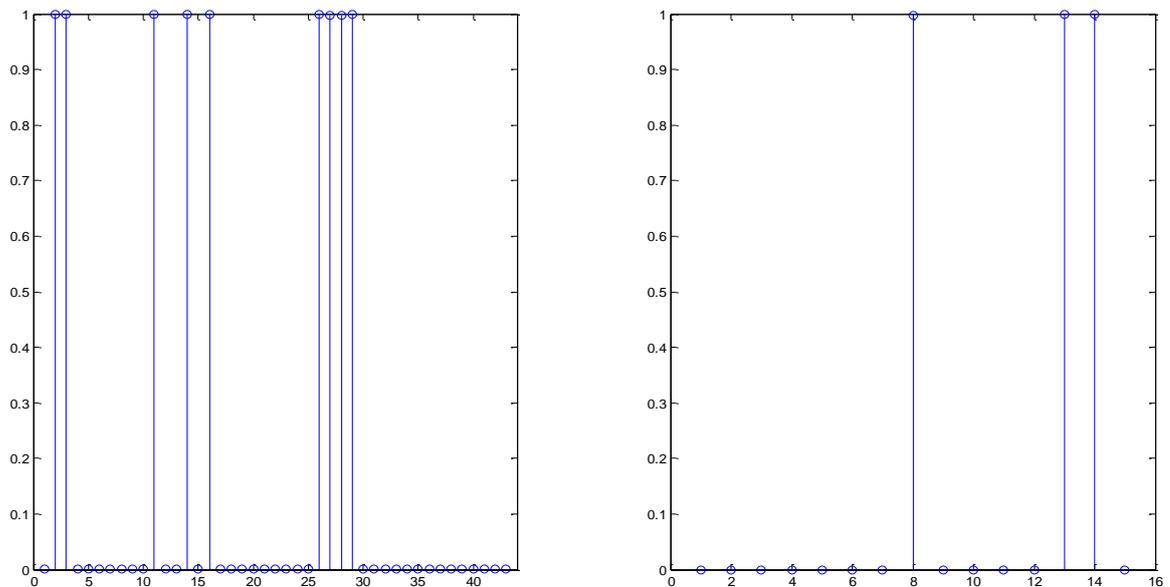
### Esempio 1



Nel secondo esempio sono state date in input la parola “uccello” e la proprietà distintiva della gallina “ha la cresta” : le proprietà evocate nella semantica sono tutte le altre della gallina (compreso “vola” anche se non è

una proprietà della gallina) e le proprietà delle categorie “animale” e “mammifero”; le parole evocate sono “gallina” e “animale”.

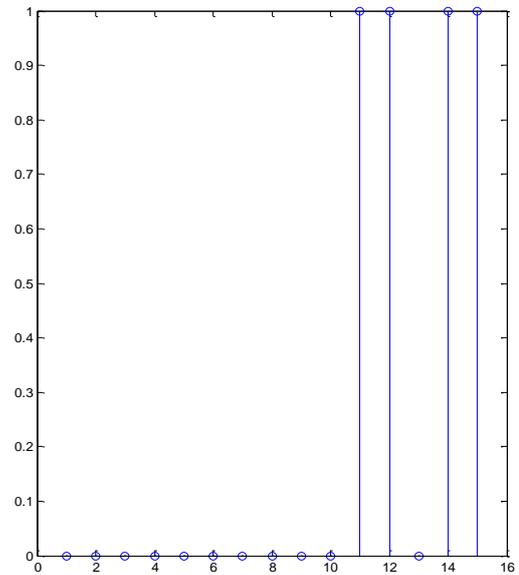
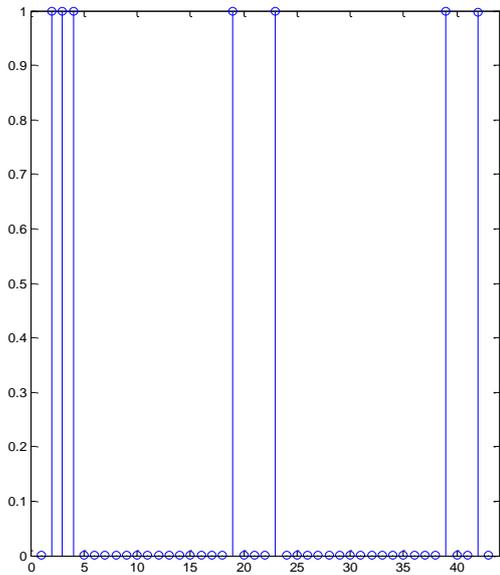
### Esempio 2



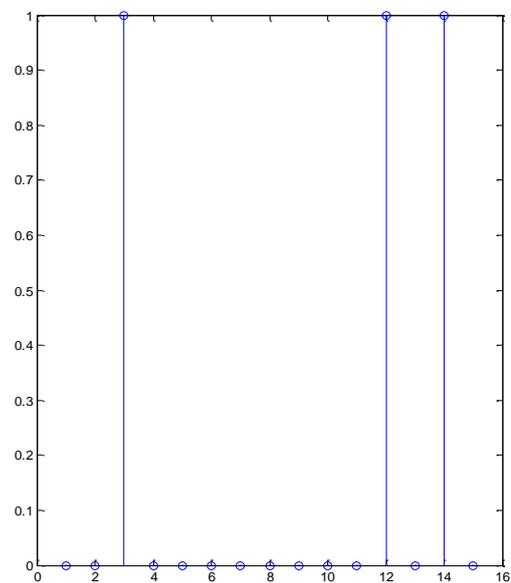
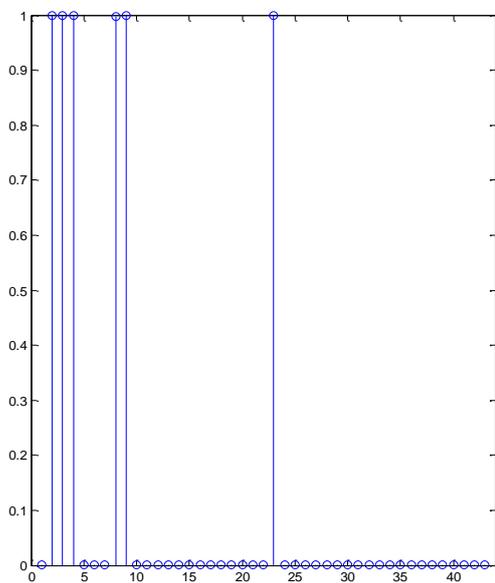
Nel terzo esempio sono state date in input la parola “ruminante” e la proprietà distintiva della zebra “ha le strisce bianche e nere” : le proprietà evocate nella semantica sono tutte le altre della zebra (tranne le proprietà 38 e 40 che non sono salienti) e le proprietà delle categorie “animale” e “mammifero” ; le parole evocate sono “zebra”, “animale”, mammifero”.

Nel quarto esempio è stata data in ingresso la parola “animale” con le proprietà “ha il pelo” e “pericoloso”, le proprietà evocate nella semantica sono quelle che appartengono all’orso e alle categorie “animale” e “mammifero”, tranne le due proprietà non salienti “selvatico” e “polare” che non sono richiamate, mentre le parole evocate sono “mammifero” e “orso”.

### Esempio 3

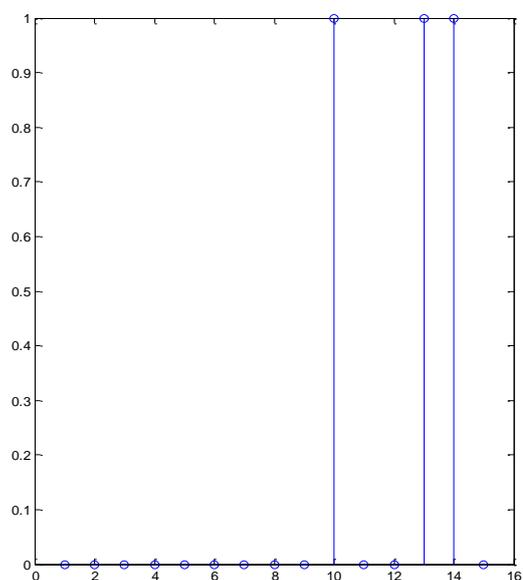
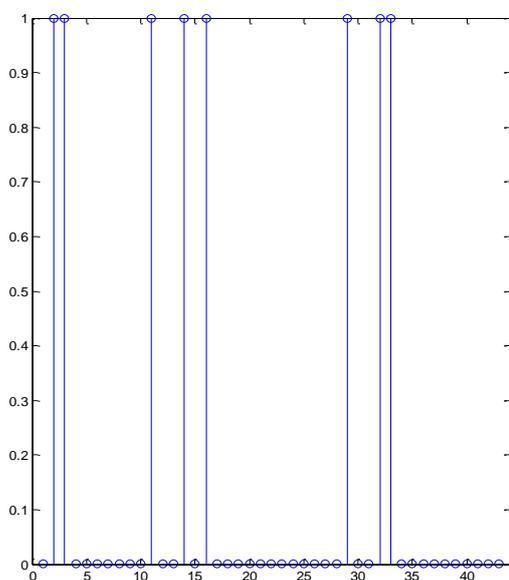


### Esempio 4



Nel quinto esempio l'input è la parola "piccione" con le proprietà "vola" e "muove la testa avanti e dietro", le parole evocate nell'area lessicale sono "animale" e "uccello", nell'area semantica sono evocate tutte le proprietà del piccione e delle categorie "animale" e "mammifero", eccetto la proprietà "si usava per mandare messaggi" che non è saliente.

### Esempio 5



## **DISCUSSIONE E CONCLUSIONE**

Il lavoro svolto presenta un modello di rete neurale in grado di acquisire automaticamente il significato di oggetti e categorie, sfruttando la statistica con cui si verificano le diverse proprietà, in modo da collegare tale significato a forme verbali. In particolare è analizzato l'apprendimento mediante l'uso della regola di Hebb, enfatizzando il ruolo svolto dalle soglie pre e post sinaptiche che permettono di realizzare sinapsi asimmetriche necessarie per distinguere le proprietà condivise da quelle distintive, e le proprietà salienti da quelle marginali. Per addestrare la rete le proprietà che appartengono agli 11 oggetti usati nella tassonomia e scelte dal database, sono state presentate con una diversa frequenza, quindi alcune proprietà si verificano più spesso di altre. Questo ha permesso di analizzare il concetto di "salienza" e discriminare le proprietà che sono subito evocate quando si pensa a un oggetto, da quelle che non vengono spontaneamente in mente, ma aiutano comunque a riconoscere un oggetto se date in input alla rete. E' importante notare che l'unico fattore che influisce sulla salienza in questo modello è il valore della soglia post sinaptica usato per l'area semantica, pari a 0.7, dunque tutte le proprietà che hanno una frequenza minore di 0.7 sono considerate non salienti. La rete semantica riflette la rappresentazione modale delle proprietà (cioè, la convergenza di informazioni sensoriali e motorie) distribuite in diverse regioni del cervello, in accordo con il concetto della "Grounded Cognition" discusso nel primo capitolo. La rete lessicale rappresenta una sorta di zona di convergenza, dove tutte le informazioni concettuali sugli oggetti individuali memorizzate nell' area semantica, sono raccolte. Il modello è stato diviso in due modelli indicati come "modello 1" e "modello 2", che differiscono per il modo in cui è stata addestrata la rete lessicale durante l'apprendimento delle categorie. In particolare, nel modello 1 tutti i

concetti relativi agli oggetti individuali sono appresi con l'esperienza, mentre le categorie sono apprese per definizione, ovvero attraverso un "maestro" che definisce quali sono le proprietà di quella categoria specifica. In questo modo, ci si forma un'idea astratta della categoria, ma il significato non è appreso con l'esperienza diretta. Nel modello 2 invece, sia i concetti superordinati (categorie), che i concetti subordinati (oggetti), sono appresi con l'esperienza; questa volta il "maestro" mostra esempi di oggetti per ciascuna categoria. Entrambi i modelli sembrano rispondere in modo adeguato alle ipotesi iniziali: le proprietà non salienti non vengono evocate ma contribuiscono a riconoscere un oggetto; le proprietà condivise non richiamano le proprietà distintive; nel modello 1 ogni parola è evocata solo dalle sue proprietà salienti, ed è inibita da tutte le proprietà che non partecipano alla sua semantica; nel modello 2 ogni parola è evocata solo dalle sue proprietà salienti, le parole associate al nome degli oggetti sono inibite da tutte le proprietà che non partecipano alla loro semantica, mentre le parole che rappresentano le categorie non sono inibite dalle proprietà distintive dei singoli oggetti. Una differenza importante, fra i due modelli, è che nel primo sono evocate, a partire dalle proprietà salienti, solo le parole associate al nome dell'oggetto; nel secondo sono evocate anche le parole associate ai nomi delle categorie. Le simulazioni fatte per entrambi i modelli mostrano la capacità di risolvere semplici tasks cognitivi sul riconoscimento di oggetti e parole, e come dando in input solo le proprietà condivise dagli oggetti, la rete non è in grado di capire di quale oggetto si tratta. Valutando inoltre il tempo di risposta, cioè quanto tempo è necessario per evocare una word-form, dai risultati emerge che più sono le proprietà date in input, soprattutto se sono distintive e salienti, e prima avviene il riconoscimento dell'oggetto. Nel modello 2 risulta che i nomi che definiscono le categorie sono evocati per primi.

Una difficoltà incontrata nelle simulazioni, con il solo modello 1, riguarda la definizione della categoria “ruminante”: infatti, è stata attribuita alla proprietà “mangia erba” una frequenza pari al 95% durante l’addestramento lessicale, diversa da quella usata durante l’addestramento semantico, che era invece dell’80%; infatti è stato visto che con una percentuale dell’80% non si riesce a formare la sinapsi eccitatoria tra la proprietà “manga erba” e la parola “ruminante”, nonostante l’80% sia maggiore della soglia postsinaptica che è 0.7.

Un primo sviluppo futuro può essere quello di adottare un algoritmo di addestramento che preveda l’uso di una soglia variabile automaticamente: ad esempio se una parola viene data spesso alla rete la soglia si alza, se non viene data mai si abbassa. Cercare dunque di trovare una regola che si adatti automaticamente alla statistica delle proprietà date in input. Un altro difetto del modello 1 che, come si vede dai risultati, è comune ad entrambi i modelli, è il fatto che la proprietà “vola” essendo presente 4 volte su 5 (in 4 uccelli tranne la gallina) è attribuita alla categoria “uccello”, per cui risulta che anche la gallina vola. Probabilmente per evitare questo problema si dovrebbe usare una soglia postsinaptica nell’area semantica più alta di 0.7. Un altro sviluppo futuro può essere quello di considerare più fattori che incidono sulla salienza, come ad esempio l’impatto emotivo di una proprietà: infatti una proprietà può essere presente poche volte ma avere un forte impatto emotivo, questo richiederà di variare la costante di apprendimento nella regola di Hebb.

## **RINGRAZIAMENTI**

Il grazie più grande va al Prof. Mauro Ursino. Con professionalità e umanità ha tolto tempo preziosissimo alle sue attività per starmi affianco, collaborando attivamente alla realizzazione dell'elaborato. Non dimenticherò mai, inoltre, i bellissimi scambi di opinioni ed esperienze, proprio come due amici.

Un grazie a mamma Carolina, che, con il suo amore e la sua costante presenza, non mi ha fatto mancare mai nulla, mai. Spero di non averla delusa neanche per un secondo.

Grazie a tutta la mia famiglia, alla mia cara cugina Annalisa, che ha fatto sempre sentire la sua presenza fondamentale.

Mille grazie alla mia amica Gaia, che, seppur lontana, mi ha dato conforto e affetto durante quest'avventura.

Ricorderò le coinquiline e i compagni di corso, che mi sono stati accanto con simpatia e goliardia.

Grazie a me, Claudia, che con amore, passione e determinazione, sono arrivata al magico traguardo, ricco di prospettive, di sogni, di desideri.

**GRAZIE A TUTTI.**

## **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*, in corso di stampa.

Montefinese M., Ambrosini E., Fairfield B., Department of Psychological, Humanistic and Territorial Sciences, Department of Neuroscience and Imaging, University of Chieti. “Semantic significance: a new measure of feature salience.” *Mem. Cogn.* (2014) 42:355-369.

Martin A., Chao L L., National Institutes of Mental Health, Bethesda, USA. “Semantic memory and the brain: structure and processes.” *Current Opinion in Neurobiology* 2001, 11:194-201.

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

Barsalou L.W., Department of Psychology, Emory University, Atlanta, Georgia. “Grounded Cognition.” *Annual Review of Psychology*, 2008.59:617-45.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Semantic\\_feature\\_comparison\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_feature_comparison_model)

<http://www.psichopedia.it/lapprendimento/article/psicologia/67-lapprendimento/423-la-teoria-delle-assemblee-cellulari-e-la-legge-di-hebb.html>

[http://www.irccsdebellis.it/html/reti\\_neurali/teoria\\_delle\\_reti\\_neurali5.htm](http://www.irccsdebellis.it/html/reti_neurali/teoria_delle_reti_neurali5.htm)

Fausto Caruana e Anna M. Borghi, Dipartimento di Psicologia, Università di Bologna (2013) : *Embodied Cognition: una nuova psicologia*

Robert Sternberg, Oklahoma State University : “*Cognitive Psychology*”. Sixth edition.

Appunti di “*Sistemi neurali*” del Prof. Mauro Ursino, Facoltà di Ingegneria, corso di laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica, Università di Bologna, (2012).

Appunti di “*Neuroscienze*” del Prof. Giuseppe Di Pellegrino, Facoltà di Psicologia, corso di laurea triennale in Scienze del comportamento e delle relazioni sociali (2013).

Appunti del corso “*Elementi di storia della psicologia*” (A.A.2004-2005, Prof. Stefano Ghirlanda) : “Connessionismo e reti neurali.”

