

## VITA ARTIFICIALE E COMPORTAMENTO: SIMULAZIONI SU CATEGORIZZAZIONE E AZIONE

### 1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni in psicologia e neuroscienze si va diffondendo l'idea che la conoscenza è *embodied*, ovvero che il modo in cui conosciamo dipende, oltre che dalle caratteristiche degli oggetti, anche dal contesto e dal nostro corpo (Barsalou 1999; Glenberg 1997; Martin, Wiggs, Ungerleider e Haxby 1996). Le simulazioni di vita artificiale possono fornire un contributo notevole agli studi sul ruolo dell'azione per la conoscenza. Infatti vengono simulati organismi dotati di un sistema percettivo e motorio, che si muovono in un ambiente e fanno parte di una popolazione – come per gli organismi reali, dunque, il loro modo di conoscere è influenzato, oltre che dalle caratteristiche degli oggetti, dall'ambiente e dalla loro struttura corporea. In questo lavoro illustro esempi di simulazioni di vita artificiale che, in modo diverso, contribuiscono a spiegare fenomeni empirici relativi al rapporto tra categorizzazione e azione.

### 2. I MODELLI

Le simulazioni che descriverò sono state realizzate utilizzando due modelli di organismi artificiali, uno dotato di un braccio mobile, implementato da Andrea Di Ferdinando, ed uno di un braccio che termina con una mano prensile, sviluppato da Giorgio Tsiotas. Illustro ora le caratteristiche generali dei due modelli, mentre i dettagli saranno specificati trattando delle singole simulazioni; le reti neurali utilizzate nei 4 studi descritti sono rappresentate nella figura 1.

*Modello 1* (fig. 1a, 1b, 1c): l'organismo con un braccio. Questo organismo vive in un ambiente bidimensionale. Possiede un sistema visivo simulato con cui può vedere oggetti, uno per volta, e un braccio formato da 2 segmenti che muove e con cui può raggiungere un diverso punto nello spazio a seconda dell'oggetto e del compito. Il sistema visivo è dato da

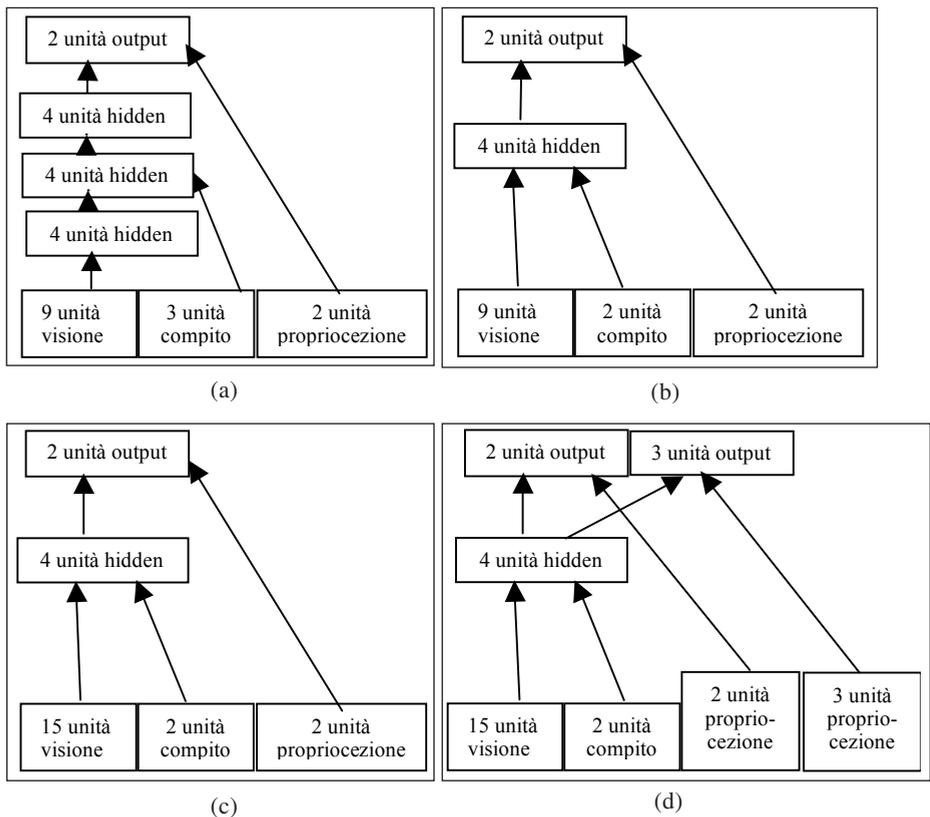


Fig. 1. L'architettura delle reti usate nei 4 studi.

una matrice di un numero variabile di celle; ogni oggetto è rappresentato da una diversa combinazione di celle piene e celle vuote della matrice. Il suo comportamento è guidato da un sistema nervoso simulato tramite una rete neurale artificiale a 3 strati. Nelle unità di input è codificato il contenuto del campo visivo; sono presenti inoltre 2 o 3 unità di compito e 2 unità propriocettive, che registrano in ogni momento la posizione del braccio in quanto codificano l'ampiezza degli angoli tra spalla e braccio e tra braccio e avambraccio. Le 2 unità di output codificano le azioni dell'organismo, ovvero le variazioni di tali angoli.

*Modello II* (fig. 1d): l'organismo con un braccio e una mano prensile. Questo modello, uguale al precedente per quanto riguarda il sistema visivo, presenta un sistema motorio più complesso: il braccio termina con una mano con 2 dita, pollice e indice, ciascuno composto da 2 segmenti. Il dito indice può essere inteso come un «dito virtuale», una singola unità funzionale che modella i movimenti di tutte le dita eccetto il pollice (Arbib 2002). Sia il braccio che le dita inviano all'organismo informa-

zione propriocettiva. Il comportamento dell'organismo è controllato da una rete neurale che differisce da quella del modello I per il numero di unità propriocettive e di output, 5 anziché 2; le prime codificano l'angolo tra spalla e braccio e tra braccio e avambraccio (2) e tra le due falangi delle dita e la giuntura tra le due dita (3), le seconde le variazioni di tali angoli.

In tutte le simulazioni l'evoluzione avviene tramite algoritmo genetico (Holland 1992). Ogni organismo fa parte di una popolazione di individui i migliori dei quali alla fine della vita vengono prescelti per la riproduzione (asessuata); ciascuno di essi genera figli che ereditano il loro genotipo (i pesi). Durante il processo di clonazione viene mutato in modo casuale circa il 10% dei pesi, cosicché i figli si comportano in modo simile ma non identico ai propri genitori. L'utilizzo dell'algoritmo genetico è determinato dalla difficoltà di trovare un algoritmo di apprendimento adatto alle simulazioni ecologiche e non implica l'assunzione che la capacità di categorizzare sia ereditata geneticamente anziché appresa.

### 3. LE SIMULAZIONI

*Simulazioni su percezione e azione nella categorizzazione.* Quando categorizziamo raggruppiamo gli oggetti in base alla loro somiglianza percettiva o alla somiglianza tra le azioni che compiamo con i loro esemplari? Secondo la visione dominante le categorie si fondano sulla somiglianza percettiva tra i loro membri. È però dimostrato che siamo in grado di formare anche categorie legate all'azione, derivate da scopi (*Goal derived*, GD; Barsalou 1999), i cui membri possono essere percettivamente dissimili e non appartenere allo stesso dominio (ad es. la categoria «regali» può includere libri e gatti).

*Il modello* (fig. 1a). Per verificare se il modo in cui organizziamo le conoscenze in categorie riflette dei pattern d'azione, abbiamo realizzato alcune simulazioni (Borghi, Di Ferdinando e Parisi 2002; Di Ferdinando, Borghi e Parisi 2002). Il compito dell'organismo consisteva nel raggruppare 4 oggetti in 2 categorie premendo un pulsante diverso per ciascuna di esse. Nel compito 1 doveva raggruppare oggetti percettivamente molto simili, nel 2 moderatamente simili, nel compito 3 per nulla simili. Dal confronto tra il numero di risposte corrette con i 3 compiti è emerso che il tempo di apprendimento (in termini di numero di generazioni) dipendeva dalla somiglianza percettiva tra gli oggetti: il compito 1 era il più semplice, il compito 3 il più difficile. Oltre a questa indagine «comportamentale» sull'apprendimento abbiamo condotto un'indagine «neurale» esaminando il pattern d'attivazione delle 4 unità nascoste per ogni oggetto e per ognuno dei 3 strati di unità interne. Questa analisi ci ha consentito di cogliere appieno l'importanza dell'azione per la catego-

rizzazione: a partire dal secondo strato di unità nascoste, in cui arrivava l'informazione relativa al compito, la distanza era spiegata dall'azione più che dalla somiglianza percettiva; l'influenza di quest'ultima scompariva del tutto nel terzo strato di unità nascoste.

*Simulazioni sulla formazione di categorie sovraordinate.* Se le simulazioni descritte dimostrano che l'azione prevale sulla somiglianza percettiva come criterio per categorizzare, l'obiettivo delle simulazioni che illustro ora (Borghi, Parisi e Di Ferdinando 2003; 2005) consiste nello spiegare, a partire da una teoria della categorizzazione basata sull'azione, l'emergere dell'organizzazione gerarchica delle categorie. È dimostrato che facciamo uso di categorie di diverso livello gerarchico: da quelle sovraordinate (es. animale), massimamente inclusive, a quelle subordinate (es. cocker).

*Il modello* (fig. 1b). In queste 3 simulazioni l'organismo interagisce con 8 oggetti. Le 2 unità di compito indicano se compiere azioni adatte a categorie sovraordinate o subordinate. Dato che gli oggetti sono percettivamente identici (sono dati da una cella piena in una matrice e differiscono solo per collocazione spaziale), impara a formarsi categorie basate esclusivamente sulle azioni che compie. Nelle simulazioni 1 e 2 ogni categoria sovraordinata include i membri di 2 subordinate (ad es. animali = 2 rettili e 2 mammiferi). Nella simulazione 1 l'organismo deve compiere un'azione simile con le categorie sovra- e subordinate, nella simulazione 2 un'azione molto diversa. Nella simulazione 3 le categorie sovraordinate sono invece formate violando i confini delle subordinate, cioè raggruppando in una categoria 4 esemplari con ciascuno dei quali, a livello subordinato, l'individuo deve compiere un'azione diversa (es. animali = cane + gatto + pesce + pettirosso). I risultati mostrano che l'apprendimento delle categorie più inclusive richiede meno generazioni di quello delle categorie subordinate. Questo contribuisce a chiarire come avviene lo sviluppo delle categorie. I nostri risultati vanno a favore della teoria che prevede che si apprendano prima categorie generali (es. esseri che si muovono autonomamente vs. il cui movimento è indotto) a partire dalle quali lo sviluppo procede poi per segmentazioni successive (Mandler 1992) e contribuiscono a spiegarla. Le categorie generali vengono apprese prima per una ragione molto semplice: gli organismi devono imparare a fornire un insieme limitato di risposte a diversi esemplari, non a fornire risposte diverse a oggetti diversi. Il confronto tra la simulazione 1 e la 2 prova inoltre che l'azione influenza la categorizzazione: l'apprendimento delle categorie sovraordinate avviene prima con la simulazione 1 dato che le azioni che si compiono con categorie sovra- e subordinate sono tra loro più simili. Infine, abbiamo trovato, cosa non facilmente dimostrabile con compiti sperimentali, che la violazione dei confini di categoria che si determina con le categorie GD ne rende più difficile l'apprendimento: infatti la performance nella simulazione 3 non differiva da quella nella simulazione 2, mentre era peggiore di quella nella simulazione 1. Que-

sto non si spiega soltanto in base alla somiglianza tra azioni, definita in termini di contiguità spaziale dei punti da raggiungere: se così fosse i risultati della simulazione 3 avrebbero dovuto essere intermedi tra quelli della simulazione 1 e 2.

*Simulazioni su stimoli visivi e risposte motorie.* Se le simulazioni descritte nel paragrafo precedente riproducevano un fenomeno per meglio spiegarlo, quelle che presento ora replicano due studi sperimentali, sia per quanto riguarda la procedura che i risultati.

*Il raggiungimento.* Tucker e Ellis (1998) chiedevano ai partecipanti di premere un tasto con la mano destra o sinistra per indicare se l'oggetto rappresentato in una fotografia era diritto o rovesciato. L'effetto di compatibilità tra la collocazione del manico dell'oggetto (a destra o a sinistra), non rilevante per il compito, e il pulsante da premere, dimostra che il manico attiva automaticamente una risposta motoria.

*Il modello* (fig. 1c). L'organismo (Borghi, Di Ferdinando e Parisi, in revisione; Parisi, Borghi, Di Ferdinando e Tsiotas 2005) poteva vedere 4 diversi contenitori, uno diritto e uno rovesciato, uno con il manico a sinistra e uno a destra. Durante una fase di addestramento imparava quello che facciamo nella vita reale, cioè ad afferrare gli oggetti per il manico. In seguito, analogamente a quanto accadeva nell'esperimento di T&E, doveva decidere se l'oggetto era diritto o rovesciato premendo un tasto collocato dalla stessa parte o dalla parte opposta del manico dell'oggetto (condizioni «compatibile» e «incompatibile»). Con questa simulazione abbiamo replicato l'effetto di compatibilità riproducendo, a differenza di altri modelli, anche la procedura sperimentale utilizzata (la visione dell'oggetto, la pressione del pulsante ecc.). Il confronto tra il pattern di attivazione delle unità interne nella fase di addestramento e nella simulazione spiega l'effetto di compatibilità: nella condizione compatibile la rete mantiene il pattern di attivazione utilizzato durante l'addestramento, utilizza semplicemente un'unità aggiuntiva per codificare il nuovo compito. Nella condizione incompatibile, invece, la struttura della rete viene completamente riorganizzata. Il modello convalida così la spiegazione degli effetti di compatibilità secondo cui una via veloce, automatica, elabora l'informazione irrilevante per il compito, mentre una via più lenta, indiretta, attiva la risposta richiesta dal compito (Kornblum, Hasbroucq e Osman 1990).

*La prensione.* Tucker e Ellis (2001) chiedevano di categorizzare oggetti di diverse dimensioni in artefatti e oggetti naturali esercitando una presa di precisione o di forza con un dispositivo simile ad un joystick. L'effetto di compatibilità tra il tipo di presa (precisione, forza) e le dimensioni dell'oggetto (afferrabile con una presa di forza, es. bottiglia, o di precisione, es. matita) dimostra che vedere un oggetto attiva uno specifico programma motorio di prensione.

*Il modello* (fig. 1d). L'organismo (Tsiotas, Borghi e Parisi 2005) poteva vedere uno alla volta 4 diversi oggetti: 2 piccoli e 2 grandi, 2

grigi e 2 neri. Dopo una fase di addestramento in cui imparavano ad afferrare con il tipo di presa appropriata, di precisione o di forza, oggetti di diverse dimensioni, abbiamo fatto evolvere organismi in grado di eseguire l'esperimento di T&E (con qualche variazione): dovevano rispondere con una presa di precisione agli oggetti neri e una presa di forza agli oggetti grigi. Con le simulazioni abbiamo replicato l'effetto di compatibilità tra le dimensioni degli oggetti e il tipo di presa trovato da T&E. L'analisi del pattern di attivazione delle unità interne della rete rivela che l'informazione relativa alla grandezza degli oggetti, utile per afferrare gli oggetti, viene «mantenuta in memoria» dalla rete quando deve eseguire il compito sperimentale e spiega il vantaggio della condizione «compatibile» su quella «incompatibile». Come negli organismi reali, anche negli organismi artificiali il solo fatto di vedere un oggetto attiva l'azione che tipicamente l'organismo è abituato a fare con quell'oggetto. Se l'azione attivata è la stessa che si chiede all'organismo di eseguire, i tempi di risposta sono più rapidi. Se è diversa, i tempi si allungano perché l'organismo deve inibire l'azione automaticamente attivata dalla percezione dell'oggetto e programmarne e eseguirne una nuova.

#### 4. CONCLUSIONE

Gli studi che ho passato in rassegna costituiscono esempi diversi di come le simulazioni di vita artificiale possano contribuire all'indagine del rapporto tra categorizzazione e azione. Il primo esempio illustra come, anche se le somiglianza percettiva influenza la formazione delle categorie, a livello di rappresentazioni interne gli oggetti vengono raggruppati sulla base delle azioni da svolgere con essi piuttosto che della loro somiglianza. In questo caso abbiamo usato le simulazioni per studiare qualcosa di nuovo, non per replicare un fenomeno o un esperimento. Il secondo esempio spiega perché le categorie sovraordinate vengono apprese prima delle subordinate e perché l'apprendimento delle prime risente della violazione dei confini di categoria. In questo caso le simulazioni sono state utilizzate per replicare un fenomeno e contribuiscono a spiegarlo attraverso strumenti di cui la ricerca sperimentale non potrebbe avvalersi – per esempio, creando categorie basate completamente sull'azione. Il terzo esempio dimostra che anche negli organismi artificiali la visione degli oggetti attiva le precedenti esperienze visuomotorie con essi. In questo caso abbiamo usato le simulazioni per replicare sia la procedura che il risultato di uno studio sperimentale. In tutte le simulazioni descritte sono stati utilizzati due tipi di analisi, una «comportamentale», che consiste nel calcolare il numero di generazioni necessarie per apprendere un compito, e una «neurale», un esame del pattern di attivazione delle unità nascoste. Un potenziale problema della prima consiste nel fatto che il numero di generazioni necessarie per apprendere un compito

potrebbe non costituire una misura accurata dei tempi di risposta, dato che, a differenza che in altri modelli non *embodied* (ad es. Kornblum, Stevens, Whipple e Requin 1999; Zorzi e Umiltà 2005), non vengono considerate le risposte ai singoli trias. Tuttavia, tramite questa analisi si ottiene una misura degli errori, e gli effetti di compatibilità che le nostre simulazioni replicano riguardano sia i tempi di reazione che gli errori. Stiamo sviluppando modi per affiancare all'apprendimento tramite algoritmo genetico una «mappatura» più puntuale dei tempi di risposta, continuando a utilizzare modelli *embodied*. L'analisi «neurale», certamente utile e informativa, non è scevra da limiti. Le reti neurali utilizzate non costituiscono che rappresentazioni molto semplificate delle reti neurali reali. Una delle sfide per la ricerca in questo settore consiste proprio nel riprodurre in modo più fedele sia i comportamenti che la struttura neurale degli organismi che agiscono (Enquist e Ghirlanda 2005).

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ARBIB M.A. (2002), *Grounding the mirror system hypothesis for the evolution of the language-ready brain*, in A. Cangelosi e D. Parisi (a cura di), *Simulating the evolution of language*, London, Springer.
- BARSALOU L.W. (1999), *Perceptual symbol systems*, in «Behavioral and Brain Sciences», 22, pp. 577-609.
- BORGHİ A., DI FERDINANDO A. e PARISI D. (2002), *The role of perception and action in object categorization*, in J.A. Bullinaria e W. Lowe (a cura di), *Connectionist models of cognition and perception*, Singapore, World Scientific, pp. 40-50.
- BORGHİ A.M., DI FERDINANDO A. e PARISI D. (2003), *Violation of category boundaries: A connectionist study with action-based categories*, in F. Schmalhofer, R.M. Young e F. Katz (a cura di), *Proceedings of the Meeting of the European Society of Cognitive Science, Osnabrück 2003*, London, Erlbaum, pp. 61-66.
- BORGHİ A.M., DI FERDINANDO A. e PARISI D. (in revisione), *Objects, spatial compatibility and affordances: A connectionist study*, in «Cognitive Science».
- BORGHİ A.M., PARISI D. e DI FERDINANDO A. (2005), *Action and hierarchical levels of categories: A connectionist perspective*, in «Cognitive Systems Research», 6, pp. 99-110.
- DI FERDINANDO A., BORGHİ A.M. e PARISI D. (2002), *The role of action in object categorization*, in S. Haller e G. Simmons (a cura di), *Proceedings of the 15th International Flairs Conference*, Pensacola, FL., AAAI Press, pp. 138-142.
- ENQUIST M. e GHIRLANDA S. (2005), *Neural networks and animal behavior*, Princeton, Princeton University Press.
- HOLLAND J.H. (1992), *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- KORNBLUM S., HASBROUCQ T. e OSMAN A. (1990), *Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility. A model and taxonomy*, in «Psychological Review», 97, pp. 253-270.

- KORNBLUM S., STEVENS G.T., WHIPPLE A. e REQUIN J. (1999), *The effects of irrelevant stimuli: 1. The time course of Stimulus-Stimulus and Stimulus-Response consistency effects with Stroop-like stimuli, Simon-like tasks, and their factorial combinations*, in «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», 25, pp. 688-714.
- MANDLER J.M. (1992), *The foundations of conceptual thought in infancy*, in «Cognitive Development», 7, pp. 273-285.
- MARTIN A., WIGGS C.L., UNGERLEIDER L.G. e HAXBY J.V. (1996), *Neural correlates of highly specific knowledge*, in «Nature», 379, pp. 649-652.
- PARISI D., BORCHI A.M., DI FERDINANDO A. e TSIOTAS G. (2005), *Meaning and motor actions: Behavioral and Artificial Life evidence*, in «Behavioral and Brain Sciences», 28, pp. 35-36.
- TSIOTAS G., BORCHI A. e PARISI D. (2005), *Objects and affordances. An Artificial Life simulation*, in *Proceedings of the Cognitive Science Society*, 27.
- TUCKER M. e ELLIS R. (1998), *On the relations between seen objects and components of potential actions*, in «Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance», 24, pp. 830-846.
- TUCKER M. e ELLIS R. (2001), *The potentiation of grasp types during visual object categorization*, in «Visual Cognition», 8, pp. 769-800.
- ZORZI M. e UMLTÀ C. (1995), *A computational model of the Simon effect*, in «Psychological Research», 58, pp. 193-205.

*Anna M. Borghi, Dipartimento di Psicologia, Università di Bologna, Viale Berti Pichat 5, 40127 Bologna. E-mail: annamaria.borghi@unibo.it*