

Vivere in un ambiente che contiene cibo e predatori

Fabio Ruini^{o+} Domenico Parisi^o

^o *Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione, CNR*
+ Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

1. Introduzione

Per sopravvivere e riprodursi tutti gli organismi debbono essere in grado di compiere molte attività diverse, ad esempio mangiare, bere, evitare i predatori e altri pericoli, trovare un partner per la riproduzione, garantire la sopravvivenza dei propri figli quando ancora non sono in grado di garantirselo da soli. Il problema è che in generale gli organismi non possono svolgere che una sola attività alla volta. Per questo il loro comportamento deve essere analizzato come composto da un livello strategico e da un livello tattico. Al livello strategico un organismo deve essere in grado di decidere di volta in volta a quale specifica attività dedicarsi, ignorando tutte le altre, mentre al livello tattico l'organismo deve sapere svolgere l'attività prescelta in modo efficiente. In psicologia il primo livello, quello strategico, viene detto "dinamico", e coinvolge motivazioni e emozioni, mentre il secondo livello, quello tattico, viene detto "cognitivo", e coinvolge abilità e conoscenze.

Il livello strategico è anche importante per decidere il vigore, l'impegno, con cui una certa attività viene svolta. Questo aspetto puramente quantitativo del comportamento caratterizza il livello strategico, in contrasto con il carattere più qualitativo del livello tattico, in cui si tratta di scegliere specifici movimenti con cui rispondere a specifici stimoli. La stessa decisione riguardante l'attività a cui dedicarsi in ogni determinato momento appare avere carattere quantitativo, nel senso che si basa sulla relativa importanza in senso quantitativo delle differenti attività alternative.

In questo lavoro descriviamo alcune semplici simulazioni di organismi che devono operare sia al livello strategico che a livello tattico. Gli organismi vivono in un ambiente in cui è presente del cibo e in cui, di tanto in tanto, compare un predatore. Per sopravvivere e riprodursi un organismo deve essere capace di procurarsi il cibo quando il predatore è assente, ma deve ignorare il cibo e fuggire via dal predatore quando compare il predatore. In generale, evitare di farsi raggiungere dal predatore è più importante per l'organismo che procurarsi il cibo, nel senso che le probabilità di sopravvivenza/riproduzione dell'organismo diminuiscono di una quantità molto maggiore ogni volta che l'organismo viene raggiunto dal predatore di quanto non aumentino per ogni elemento di cibo mangiato. Tuttavia, tutte e due le attività hanno un ruolo nel determinare le probabilità di sopravvivenza/riproduzione degli organismi.

Quando il predatore è assente, l'apparato sensoriale dell'organismo codifica la posizione del cibo più vicino all'organismo e l'organismo deve rispondere muovendosi nell'ambiente in modo da avvicinarsi e mangiare il cibo. Quando il predatore è presente, l'apparato sensoriale dell'organismo codifica sia la posizione del cibo più vicino che la posizione del predatore che si sta avvicinando all'organismo. Pertanto, quando il predatore è presente, l'organismo deve essere in grado di ignorare l'informazione sensoriale riguardante il cibo e rispondere all'informazione sensoriale riguardante il predatore, sviluppando una capacità di attenzione selettiva.

Nel presente lavoro presentiamo i risultati di una serie di simulazioni in cui variamo la pericolosità del predatore e l'architettura della rete neurale che controlla il comportamento dell'organismo.

2. Lo scenario simulativo

Una popolazione di organismi vive in un ambiente bidimensionale rappresentato da una griglia di celle quadrate. Ogni organismo vive da solo nella sua “copia” dell’ambiente. L’organismo occupa una singola cella. L’ambiente contiene degli elementi di cibo sparsi a caso, ciascuno dei quali occupa una singola cella. Periodicamente nell’ambiente compare un predatore che, con un comportamento deciso dal ricercatore, si avvicina all’organismo. Invece il comportamento dell’organismo è controllato da una rete neurale i cui pesi sinaptici vengono sviluppati usando un algoritmo genetico. Nella generazione iniziale i pesi sono assegnati a caso e si traducono quindi in una scarsa capacità degli organismi sia di avvicinarsi al cibo che di sfuggire al predatore. La vita degli organismi ha durata fissa e alla fine della vita a ciascun organismo viene assegnata una fitness che è il numero di cibo mangiati meno il numero di volte che l’organismo si è fatto raggiungere dal predatore, moltiplicato per un fattore che varia da simulazione a simulazione e rappresenta la pericolosità del predatore. La riproduzione selettiva degli individui con fitness più alta e l’aggiunta di mutazioni casuali a una certa percentuale dei pesi sinaptici ereditati, portano gradualmente a una popolazione di organismi che, dopo un certo numero di generazioni, è in grado sia di procurarsi il cibo con efficienza quando il predatore è assente, sia di sfuggire al predatore, ignorando il cibo, quando compare il predatore.

Nella simulazione di base la rete neurale che controlla il comportamento degli organismi è formata da quattro unità di input sensoriale, due unità di output motorio, e nove unità interne che collegano l’input sensoriale all’output motorio. Ognuna delle quattro unità sensoriali è connessa con tutte le nove unità interne, e a loro volta ognuna delle nove unità interne è connessa con tutte e due le unità di output motorio. Due delle quattro unità sensoriali codificano la posizione del cibo più vicino, e le altre due codificano la posizione del predatore. Quando il predatore è assente, queste due ultime unità hanno livello di attivazione uguale a zero. Le due unità di output motorio codificano in che modo l’organismo si muove nell’ambiente. Oltre a questa simulazione di base, abbiamo ottenuto i risultati di altre tre simulazioni in cui l’architettura della rete neurale è diversa da quella descritta: (a) vengono aggiunte altre due unità interne che però ricevono connessioni soltanto dalle due unità sensoriali che codificano la posizione del predatore e inviano le loro connessioni alle nove unità interne della simulazione di base; (b) l’architettura è uguale a quella della simulazione di base ma le unità interne sono undici invece che nove; (c) le due unità interne aggiuntive inviano le loro connessioni direttamente alle due unità di output motorio, invece che alle nove unità interne, come avviene nel caso (a).

3. Risultati

Qui riportiamo i risultati ottenuti variando la pericolosità del predatore e quelli ottenuti variando l’architettura della rete neurale degli organismi.

Un primo risultato è che un predatore più pericoloso comporta una riduzione della fitness della popolazione. Questo risultato è facilmente spiegabile in quanto, a parità di numero di volte che un organismo è stato raggiunto dal predatore, la sua fitness sarà minore se il predatore è più pericoloso in quanto, ogni volta che il predatore raggiunge l’organismo, gli infligge una perdita di 50 punti di fitness invece che una perdita di soli 10 punti. Più interessanti sono altri due risultati. Il numero di volte che, in media, un organismo viene raggiunto dal predatore è inferiore con i predatori più pericolosi che con i predatori meno pericolosi. E inoltre, con predatori più pericolosi diminuisce la quantità di cibo mangiato. Quest’ultimo risultato può apparire sorprendente in quanto in tutte le simulazioni gli organismi si occupano di mangiare il cibo quando il predatore è assente, non quando è presente, e quindi si sarebbe potuto supporre che la pericolosità del predatore non influenzasse la capacità degli organismi di procurarsi il cibo. (Su questo punto torneremo nella Discussione.)

Per quanto riguarda le variazioni dell'architettura della rete neurale degli organismi, i risultati migliori, in termini sia di fitness media che di fitness dell'individuo migliore alla fine di ogni simulazione, sono ottenuti con l'architettura (a), cioè quella dotata di un circuito motivazionale che è attivato dalla presenza del predatore e che influenza il modo in cui le nove unità interne elaborano l'input sensoriale. Le due architetture con 9 e 11 unità interne ma che sono prive del circuito motivazionale, ottengono risultati meno buoni dell'architettura (a) e equivalenti tra di loro. Invece l'architettura (c), in cui le due unità aggiuntive del circuito motivazionale sono collegate direttamente con le due unità di output motorio, e non con le nove unità interne, e quindi non possono influenzare il modo in cui le unità interne elaborano l'input sensoriale, ottiene risultati peggiori non solo dell'architettura (a) ma anche delle due architetture con 9 e 11 unità interne.

Per capire un po' meglio in che modo il circuito motivazionale dell'architettura (a) influenza positivamente la performance dei nostri organismi, abbiamo analizzato i pattern di attivazione delle nove unità interne in due condizioni: nella condizione in cui l'input sensoriale che determina tale pattern di attivazione codifica sia la posizione del cibo che la posizione del predatore (quindi quando il predatore è presente) e nella condizione in cui solo il predatore è presente e quindi l'input sensoriale codifica soltanto la posizione del predatore. Questa seconda condizione non si verifica mai nella vita degli organismi, e pertanto noi l'abbiamo creata mediante una manipolazione sperimentale. Abbiamo confrontato i pattern di attivazione delle nove unità interne in queste due condizioni per le diverse architetture neurali precedentemente descritte. I risultati mostrano che i pattern di attivazione osservati nelle due condizioni sono più simili tra loro con l'architettura (a) che con le altre architetture. Questo significa che l'aggiunta del circuito motivazionale presente nell'architettura (a) ma non nelle altre architetture, ha come effetto che per l'organismo l'informazione sensoriale riguardante il cibo viene annullata dalla presenza del predatore: quando compare il predatore, il circuito motivazionale fa in modo che per la rete neurale dell'organismo l'informazione riguardante il cibo è come se non esistesse. Per questo l'organismo in presenza del predatore può ignorare il cibo e occuparsi unicamente di sfuggire al predatore.

4. Discussione dei risultati

Abbiamo descritto alcuni dei risultati ottenuti con semplici simulazioni in cui degli organismi debbono sviluppare una capacità di procurarsi il cibo e una capacità di evitare di essere raggiunti da un predatore (livello tattico) e nello stesso tempo debbono sviluppare una capacità di dedicarsi a procurarsi il cibo quando il predatore è assente e di dedicarsi a scappare via dal predatore quando il predatore è presente, ignorando il cibo che pure continuano a percepire anche quando il predatore è presente (livello strategico).

Abbiamo mostrato che il livello quantitativo di pericolosità del predatore (misurato come numero di unità di fitness, cioè di probabilità di sopravvivere/riprodursi, che vengono perdute da un organismo quando viene raggiunto dal predatore) influenza il comportamento degli organismi. Quando il predatore è più pericoloso, gli organismi da un lato diventano più bravi a evitare di farsi raggiungere dal predatore e dall'altro diventano meno bravi a procurarsi il cibo quando il predatore è assente. Entrambi questi risultati possono essere spiegati assumendo che predatori più pericolosi spingono gli organismi a dedicare una quantità maggiore delle loro risorse neurali alla capacità di sfuggire al predatore e, di conseguenza, essendo le risorse limitate (le nove unità interne), a dedicare meno risorse alla capacità di procurarsi il cibo.

Abbiamo inoltre mostrato che uno specifico tipo di architettura neurale produce risultati migliori di altre architetture. L'architettura neurale che produce i risultati migliori include un circuito motivazionale che è attivato dalla presenza del predatore e influenza il modo in cui le unità interne

elaborano l'input sensoriale degli organismi. Abbiamo mostrato che questo vantaggio è dovuto alla specifica architettura del circuito motivazionale, e non al semplice aumento delle unità di elaborazione della rete neurale. Infatti, senza circuito motivazionale una rete neurale con 11 unità interne produce gli stessi risultati di una rete neurale con sole 9 unità interne, mentre una rete neurale con circuito motivazionale ma avente complessivamente lo stesso numero di 11 unità interne (9 unità interne in senso proprio e 2 unità del circuito motivazionale) produce risultati migliori di tutte e due le architetture prive di circuito motivazionale. I risultati dimostrano anche che il circuito motivazionale deve essere in grado di influenzare l'elaborazione dell'input sensoriale al livello delle unità interne, cioè relativamente vicino all'input sensoriale, mentre produce risultati molto peggiori se la sua influenza può essere esercitata solo più tardi, al livello delle unità di output motorio.

Infine un altro risultato interessante è che una analisi dell'organizzazione interna delle reti neurali dotata di un circuito motivazionale ci dà una indicazione sul modo in cui i circuiti motivazionali possono esercitare il loro ruolo al livello strategico del comportamento degli organismi. Un problema critico che gli organismi debbono risolvere per operare efficacemente al livello strategico è quello di ignorare gli input sensoriali che sono irrilevanti per l'attività a cui si debbono dedicare, rispondendo soltanto agli input sensoriali che sono rilevanti per tale attività. Una semplice analisi dell'organizzazione interna delle reti neurali dotate di un circuito motivazionale mostra che il circuito motivazionale influenza il comportamento dell'organismo in quanto, letteralmente, cancella l'informazione sensoriale irrilevante e fa in modo che a controllare il comportamento dell'organismo sia soltanto l'informazione rilevante per l'attività a cui l'organismo deve dedicarsi in quel momento.