

R e t I N a B o x

Piani di Lezione

Versione 1.0



Panoramica del sistema visivo: Come vediamo?

L'elaborazione visiva inizia nella **retina**, un sottile strato di tessuto cerebrale sensibile alla luce situato nella parte posteriore dell'occhio (sì, la retina è parte del cervello).

All'interno della retina, neuroni chiamati **fotorecettori** rilevano la luce e la trasformano in segnali elettrico-chimici. Attraverso un processo chiamato *fototrasduzione*, le variazioni di intensità luminosa alterano il potenziale di membrana del fotorecettore, ovvero la tensione, o differenza di potenziale elettrico, tra l'interno e l'esterno della cellula. Questa variazione nel potenziale di membrana influisce sulla quantità di neurotrasmettitore glutammato rilasciato dal fotorecettore.

Questi segnali mediati dai fotorecettori vengono trasmessi—da neuroni ausiliari chiamati **cellule bipolari**—alle cellule gangliari, che inviano i segnali retinici fuori dall'occhio e al resto del cervello, tramite il **nervo ottico** (Figura 1).

All'interno della retina, schemi di connettività complessi tra cellule bipolari, cellule orizzontali, cellule amacrine e cellule gangliari (Figura 1) trasformano i segnali mediati dai fotorecettori (che segnalano solo aumenti o diminuzioni della luminanza) in risposte selettive alle caratteristiche visive. Ciò significa che le cellule gangliari rispondono solo quando specifiche caratteristiche visive sono presenti nel mondo. Ad esempio, una cellula gangliare potrebbe rispondere solo quando appare un punto di luce di una dimensione particolare, e un'altra cellula gangliare potrebbe rispondere solo quando uno stimolo visivo si muove da sinistra a destra attraverso il campo visivo.

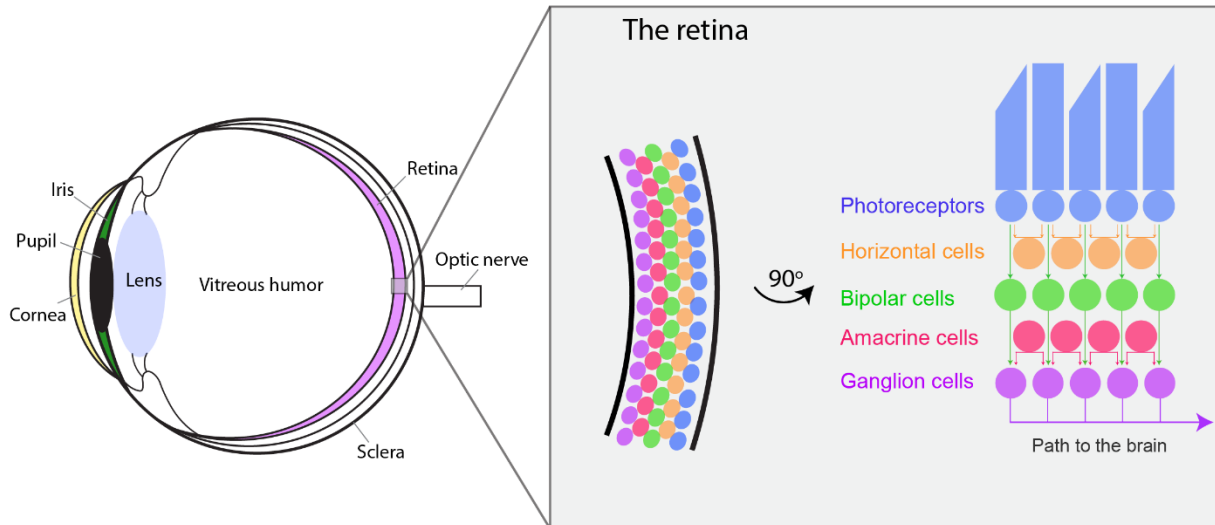


Figura 1. Un diagramma semplificato della retina. La luce entra nell'occhio e viene rilevata dai fotorecettori, che inviano segnali alle cellule gangliari, tramite una rete di cellule retiniche aggiuntive. Le cellule gangliari integrano questi segnali e inviano 'output' al resto del cervello per ulteriori interpretazioni.

Tuttavia, l'anatomia retinica è un po' più complessa di quanto descritto sopra. I fotorecettori (e tutti gli altri tipi di cellule rappresentati sopra) sono disposti in un'organizzazione densa e tridimensionale (Figura 2). All'interno di un dato strato retinico, le cellule formano un **mosaico** bidimensionale (Figura 2). Ad esempio, nello strato dei fotorecettori, ciascun fotorecettore cattura

variazioni di luminanza da una piccola porzione della scena visiva, ma insieme tutti i fotorecettori codificano l'immagine completa che rappresenta il tuo campo visivo.

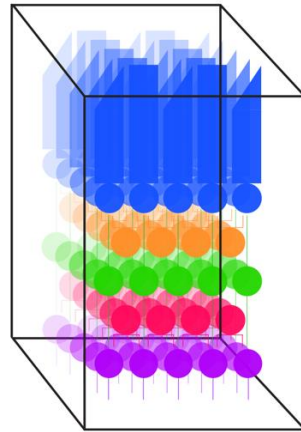


Figura 2. Diagramma della retina che illustra l'organizzazione a mosaico delle cellule nella retina.

**Per una panoramica più dettagliata della retina, visita theopenbrain.org e <https://webvision.med.utah.edu/>.*

RetINaBox: un modello semplificato del sistema visivo precoce

Come hai visto, la vera retina è complessa, con molti tipi di cellule intricatamente connessi per formare una miriade di circuiti. **RetINaBox** è un modello semplificato della retina (Figura 3) che preserva i principi chiave dell'elaborazione visiva ma fornisce uno strumento pratico che puoi utilizzare per collegare, modificare e testare le elaborazioni visive. In altre parole, è stato progettato per permetterti di scoprire come funziona la retina. RetINaBox contiene una matrice 3 x 3 di fotorecettori modello, che si collegano direttamente a due cellule gangliari retiniche modello.

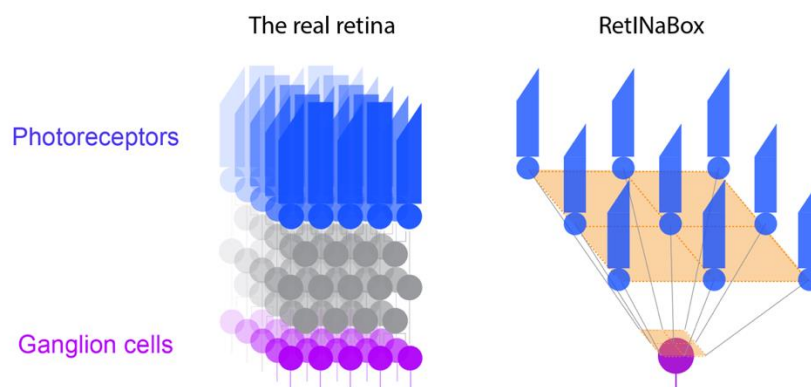


Figura 3. Circuiteria del modello semplificato RetINaBox. La luce è rilevata dai fotorecettori, che sinapsano—o si connettono a—cellule gangliari. A destra, mostriamo la connettività dalla matrice di fotorecettori modello 3 x 3 a una delle due cellule gangliari modello di RetINaBox.

RetINaBox ha alcuni componenti fondamentali (Figura 4):

- Una matrice 3 x 3 di **fotodiodi** sensibili alla luce, che fungono da **fotorecettori modello**, che rilevano variazioni nella luce infrarossa (dai LED IR a stimolo visivo di RetINaBox) e convertono questi segnali visivi in segnali elettrici che poi inviano a 2 cellule gangliari retiniche modello.
- Due **cellule gangliari retiniche (RGC)** modello che integrano i segnali dai fotorecettori modello.

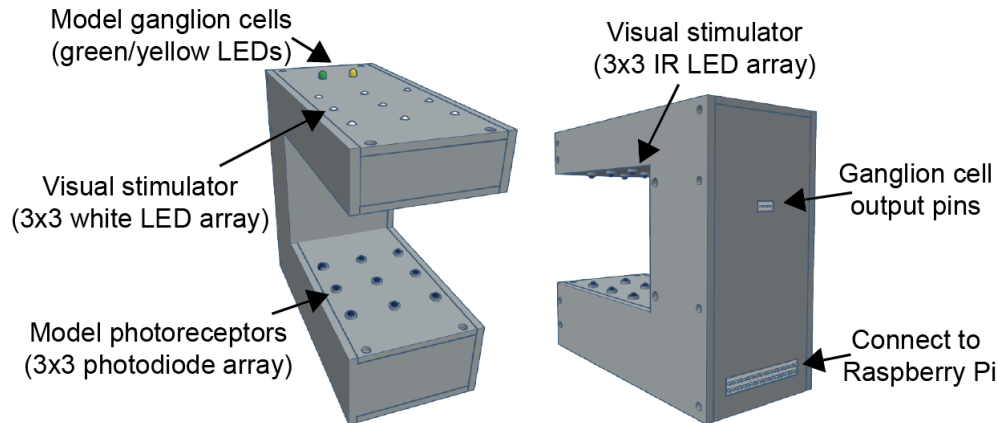


Figura 4. Diagramma annotato di RetINaBox (vista frontale (sinistra), vista posteriore (destra)).

Ogni cellula gangliare risponde quando riceve input positivi da un numero sufficiente di fotorecettori, in base a una soglia definita dall'utente. Ogni fotorecettore può connettersi a una (o entrambe) le cellule gangliari. **Tu decidi la:**

- **Polarità:** se ciascun fotorecettore attiva (**eccitatorio, +1**) o silenzia (**inibitorio, -1**) la cellula gangliare a cui è connesso, o se rimane silenzioso.
- **Ritardo temporale:** quanto tempo impiega il segnale del fotorecettore a raggiungere la cellula gangliare (questo modella la connettività asimmetrica del circuito che può essere utile per abilitare l'elaborazione del movimento).
- **Soglia:** il numero di input positivi dai fotorecettori che una cellula gangliare deve ricevere per rispondere. Se l'input combinato di tutti i fotorecettori connessi non supera la soglia assegnata, la cellula gangliare rimane silenziosa.

Per aiutarti a eseguire esperimenti con RetINaBox, abbiamo progettato un'**interfaccia grafica (GUI)** facile da usare! Essa ha tre componenti (**Figura 5**):

- (1) **Controllore di Stimoli Visivo** (“*Visual Stimulus Controller*”, vedi **Fig 5**, pannello sinistro; **Fig. 6**): controlla l'attivazione di una matrice LED 3 x 3, che consente un controllo preciso di quali fotorecettori modello vengono attivati. Decidi quali LED stanno attivamente inviando luce ai rispettivi fotorecettori (‘LED attivati’; l'attivazione dei LED avviene una volta selezionato un LED e poi attivato il Controllore di Stimolo Visivo). I LED possono essere attivati in modalità ‘**Statica**’/ ‘*Static*’ (stimoli stazionari) o

‘Movimento’ (stimoli che si muovono a sinistra o a destra a velocità lenta, media o veloce). Usa il pulsante ‘*On/Off*’ per attivare o disattivare l’attivazione dei LED.

- (2) **Gestore di Connettività** (“*Connectivity Manager*”, vedi Fig. 5, pannello centrale): consente agli utenti di connettere ciascun fotorecettore modello a una (o entrambe) le cellule gangliari, specificando la **polarità** del segnale (silenzioso, **eccitatorio (+)** o **inibitorio (-)**) e il ritardo (nessuno, breve, medio o lungo).
- (3) **Monitoraggio del Segnale** (“*Signal Monitor*”, vedi Fig. 5, pannello destro): visualizza l’input e l’output di ciascun fotorecettore, e l’output di ciascuna cellula gangliare (l’attivazione delle cellule gangliari è anche visualizzata tramite i LED verdi e gialli nella parte superiore del RetINaBox).



Figura 5. Interfaccia GUI del RetINaBox, che include il Controllore di Stimoli Visivi (sinistra), il Gestore di Connettività (centro) e il Monitoraggio del Segnale (destra).

Questa configurazione è sufficiente per costruire cellule gangliari modello con campi recettivi centro-periferia, selettivi per orientamento e selettivi per direzione, proprio come nella retina reale!

**Si prega di consultare il Manuale Utente se si necessita di ulteriore assistenza con il software.*

Come testare i propri circuiti.

Ogni lezione (dettagliata di seguito) include attività pratiche che ti sfidano a costruire circuiti retinici reattivi a diversi tipi di stimoli visivi. Per ogni circuito che costruisci, avrai due modi per testare la sua selettività visiva:

- (1) **Attivazione dei LED** (vedi Fig. 6): attiva manualmente diverse combinazioni di LED nel “**Visual Stimulus Controller**” per stimolare i fotorecettori modello con diversi schemi di luce. Questo è un modo rapido per verificare che il tuo circuito si comporti come previsto (cioè che le tue cellule gangliari rispondano selettivamente a specifici stimoli visivi). Utilizza il pulsante 'On/Off' per attivare i LED.



Figura 6. Interfaccia del Controllore di Stimoli Visivi (*‘Visual Stimulus Controller’*) per selezionare e attivare i LED nella matrice 3 x 3 per generare schemi personalizzati di stimolazione luminosa.

- (2) **Stimolazione visiva manuale con lo Strumento di Stimolazione Visiva** (vedi Fig. 7): attivare l'intera serie di LED. Quindi, crea schemi con il tuo Strumento di Stimolazione Visiva—argilla modellabile su una tavoletta di plastica trasparente. Passa questa tavoletta tra la matrice di LED e quello dei fotorecettori per bloccare selettivamente la luce che raggiunge determinati fotorecettori. Questo è il modo migliore per verificare che il tuo circuito visivo risponda selettivamente a specifici input visivi statici. In alternativa, è possibile utilizzare semplicemente le mani o alcuni pezzi di carta/cartone per controllare lo schema di luce che cade sulla matrice di fotorecettori del RetINaBox. Per stimoli in movimento, ti consigliamo di muovere semplicemente la mano da sinistra a destra attraverso la matrice di LED del RetINaBox.

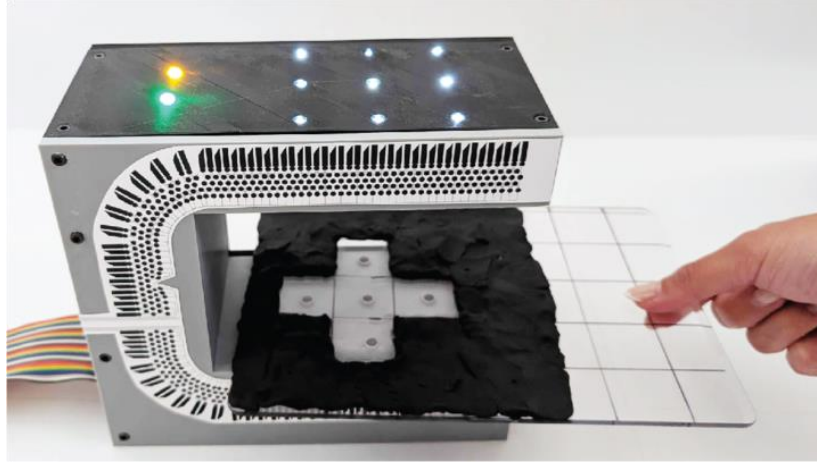


Figura 7. Dimostrazione dello Strumento di Stimolazione Visiva posizionato tra la matrice di LED e i fotorecettori modello, per bloccare selettivamente la luce e fornire schemi visivi precisi alla matrice di fotorecettori del RetINaBox.

Lezione 1: Centro-Periferia.

Come fa il tuo sistema visivo a sapere su cosa concentrarsi nel mondo?

Nella retina, i campi recettivi centro-periferia aiutano i neuroni visivi a rispondere selettivamente al contrasto di luminanza locale, cioè alle differenze di intensità luminosa tra parti vicine del campo visivo. I neuroni visivi con campi recettivi centro-periferia rispondono quando, all'interno della piccola parte della scena visiva che vedono, una parte del loro campo recettivo è luminosa e un'altra parte è scura (come un testo scuro su uno sfondo bianco). Le cellule con campi recettivi centro-periferia non rispondono bene a scene visive omogenee (es., una parete completamente bianca). Questo significa che il sistema visivo è ottimizzato per rilevare stimoli visivi che distinguono da sfondi uniformi.

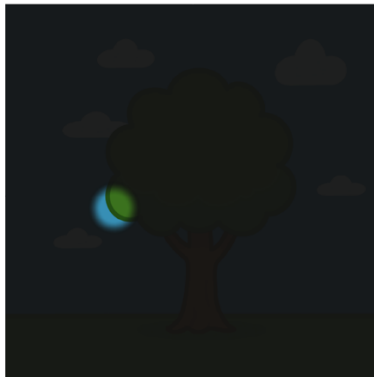
Perché è utile?

(1) Localizzare dove si trova qualcosa nel mondo.

Il modo in cui il nostro sistema visivo rileva la posizione di un oggetto inizia già a livello dei singoli neuroni. Ogni neurone visivo ha un campo recettivo: una zona precisa della retina (e quindi, del mondo visivo) in cui le variazioni di intensità luminosa possono modificare l'attività. Si può immaginare il campo recettivo come un riflettore ("spotlight"): il "riflettore" di ciascun neurone gli permette di vedere soltanto le cose in una parte specifica dello spazio visivo.



Cell 1's receptive field



Cell 2's receptive field

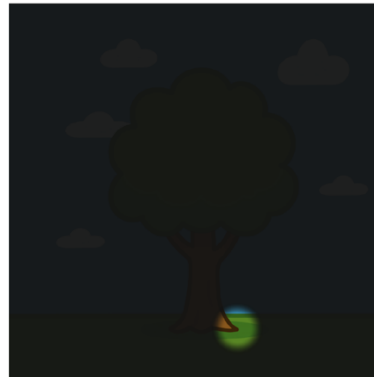
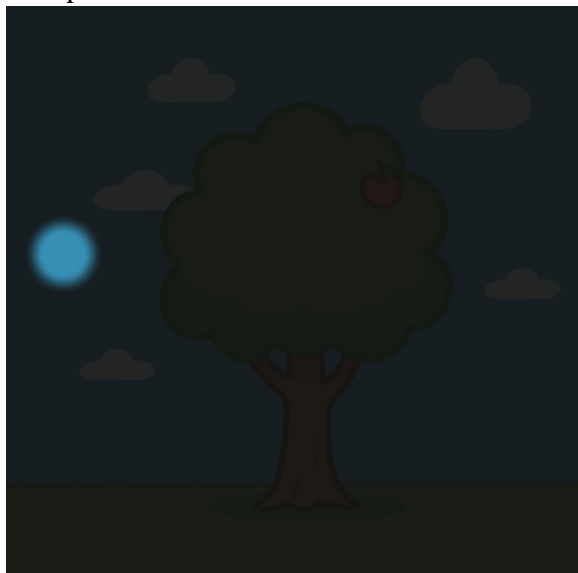


Figura 8. *Diversi neuroni hanno diversi campi recettivi.*

Quando un neurone si attiva, non sta soltanto segnalando di aver riconosciuto la sua caratteristica visiva preferita. Sta anche indicando che quella caratteristica si trova all'interno del suo campo recettivo. Poiché i campi recettivi di molti neuroni diversi si distribuiscono in modo ordinato nello spazio visivo, l'insieme delle loro risposte a una determinata caratteristica permette al cervello di stabilire dove si trova quella caratteristica.

Campo recettivo della Cellula 1.



Campo recettivo della Cellula 2.

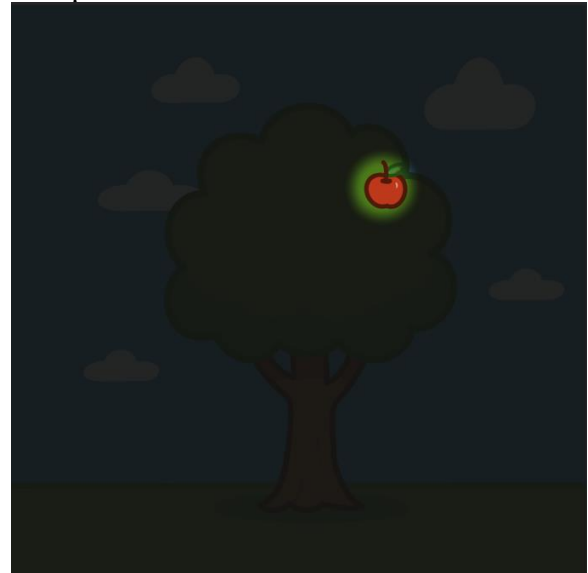


Figura 9. Esempio: individuare una mela rossa tra foglie verdi in un albero. Immagina due neuroni, entrambi alla ricerca di mele nel mondo, ma le due cellule hanno diverse posizioni dei campi recettivi. Nell'esempio sopra, solo la cellula a destra risponderebbe osservando questa scena.

(2) Sapere quanto è grande qualcosa.

Oltre a sapere dove si trova qualcosa, dobbiamo anche stimarne le dimensioni. Per un singolo fotorecettore, questo può essere ambiguo: la caratteristica che rilevata potrebbe essere piccola e rimanere confinata al suo campo recettivo, oppure essere abbastanza grande da attivare anche i campi recettivi dei fotorecettori vicini. Il sistema visivo affronta questa ambiguità in parte grazie ai campi recettivi centro-periferia: quando uno stimolo visivo è della dimensione giusta per cadere esattamente sul centro del campo recettivo di un neurone, la cellula risponde al massimo; se invece lo stimolo è più grande e si estende nella zona circostante (la 'periferia' del campo recettivo), la risposta del neurone diminuisce. In questo modo ogni neurone risponde al meglio a stimoli visivi di una certa dimensione, corrispondente al proprio centro recettivo, e in presenza di un contrasto di luminanza tra centro e periferia. Poiché neuroni diversi possono avere centri e periferie di dimensioni differenti, ciascun neurone mostrerà una preferenza per stimoli visivi di grandezze diverse.

Lezione 1 – Obiettivo

Costruire un circuito semplice che imita una cellula gangliare retinica centro-periferia per esplorare come il sistema visivo rileva punti focali di luce. Successivamente, testare il circuito attivando diversi LED (in modalità 'statica') per verificare la selettività della cellula gangliare. Infine, utilizzare lo Strumento di Stimolazione Visiva per eseguire una stimolazione visiva reale e osservare quanto sia robusto il tuo circuito centro-periferia (vedi la sezione *Come testare i circuiti* per i dettagli).

Attività #1: costruire un rilevatore di punti con campo recettivo centro-ON/periferia-OFF.

I neuroni con campi recettivi **centro-ON /periferia-OFF** vengono *attivati* (ON) quando la luce cade al centro del campo recettivo, ma vengono *inibiti* (OFF) se la luce interessa la regione circostante.

Usando la GUI, costruisci un circuito (RGC1) con una cellula gangliare centro-ON /periferia-OFF che risponde solo quando il fotorecettore centrale della matrice 3×3 viene attivato dalla luce, ma non quando sono attivati anche uno dei fotorecettori periferici, né quando un piccolo punto luminoso cade su un altro fotorecettore della matrice.

Attività #2: costruisci un secondo rilevatore di punti con una posizione del campo recettivo diversa.

Il compito successivo è realizzare una cellula gangliare (RGC2) con la stessa preferenza di dimensione (come nell'Attività #1), ma con il campo recettivo collocato in **un'altra posizione** della matrice di fotorecettori. Spostando un piccolo punto con il Strumento di Stimolo Visivo, dovresti riuscire ad attivare ciascuna RGC separatamente, in base alla posizione dello stimolo.

Attività #3: costruisci due rilevatori di punti con preferenze per dimensioni diverse.

Ora il compito è creare due cellule ganglionari (RGC1 e RGC2) con lo stesso campo recettivo (al centro), ma sintonizzate su punti luminosi di dimensioni differenti. Una cellula ganglionare deve rispondere a un piccolo punto di luce, l'altra a un punto più grande. Usando il Strumento di Stimolo Visivo per generare due spot di diversa grandezza, dovresti poter attivare solo RGC1 con lo spot piccolo e solo RGC2 con lo spot grande.

Sfida: Decifrare un codice con campi recettivi centro-periferia.

Ora che hai imparato a costruire cellule gangliari che rispondono selettivamente a punti di dimensioni specifiche e in posizioni specifiche, ti sfidiamo ad applicare ciò che hai imparato sui campi recettivi centro-periferia per **decodificare un messaggio nascosto**.

Ti verrà fornita una serie di stimoli visivi; ciascuno rappresentato come una matrice 3×3 di fotorecettori. Alcuni fotorecettori saranno attivi (gialli), altri inattivi (neri). Ogni stimolo corrisponde a **una lettera** del messaggio segreto.

Ti sarà fornito anche un **cifrario**, che ti aiuterà a decodificare il messaggio. Il cifrario ti dirà le preferenze delle caratteristiche visive per le due cellule gangliari di RetINaBox, RGC1 e RGC2. Il cifrario fornirà anche un modo per decodificare l'attività delle cellule gangliari di RetINaBox in quattro lettere (0 significa che una cellula gangliare è inattiva; 1 significa che una cellula gangliare è attiva).

Il tuo compito:

1. Dal menu della GUI, naviga su 'Code Breaker' (Lessons > Lesson 1 > Code Breaker).
2. Nel 'Connectivity Manager', collega RetINaBox in modo che le due cellule gangliari rispondano agli stimoli visivi indicati. *Nota importante: assicurati che un singolo stimolo visivo possa attivare entrambe le cellule gangliari contemporaneamente!*
3. Usa il Strumento di Stimolo Visivo per presentare gli stimoli visivi a RetINaBox e osserva le risposte delle cellule gangliari.
4. Per ciascuno stimolo visivo, utilizza il cifrario per tradurre l'output di RGC1/RGC2 in una lettera.
5. Ripeti per ogni stimolo e metti insieme il messaggio segreto completo.

Vedi l'esempio qui sotto (Figura 10):

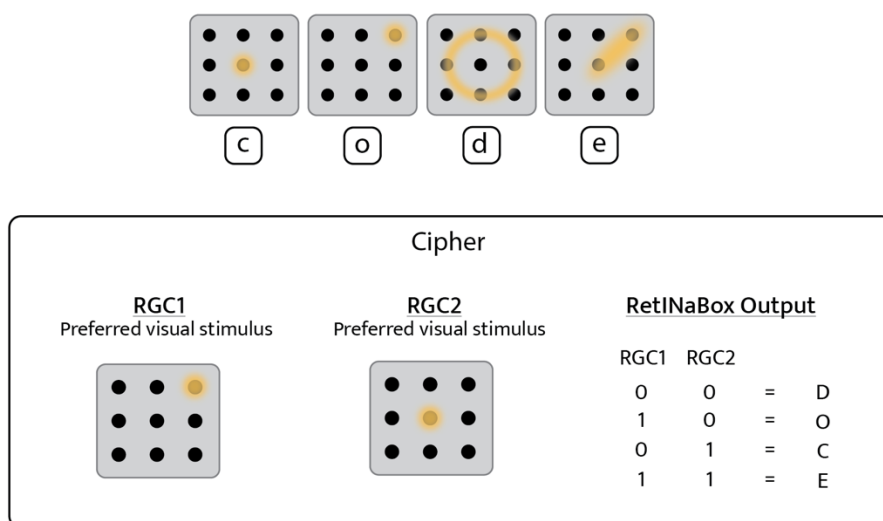


Figura 10 – Esempio del gioco di decodifica.

Sfida #1 dell'attività di decodifica.

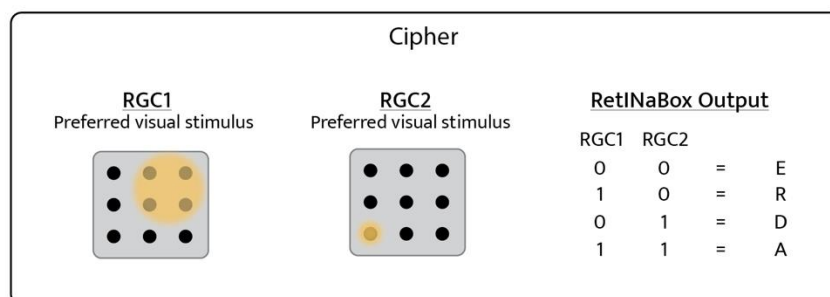
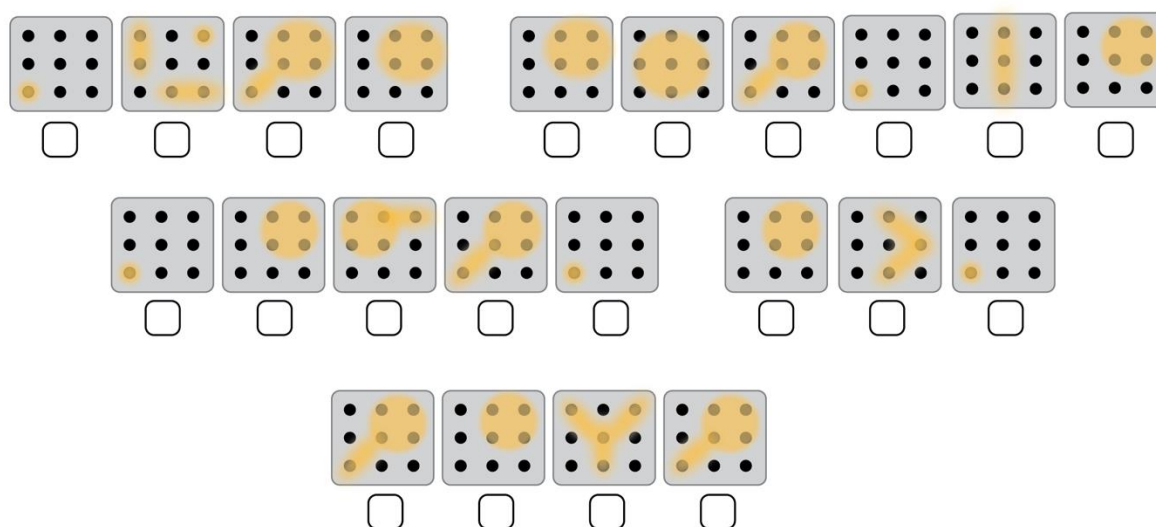


Figura 11 – Sfida 1 per il gioco di decodifica.

**Per la soluzione di questa e di altre sfide decodifica, consulta l'Appendice del Piano Lezione.*

Lezione 2: Selettività all'orientamento.

Come riconosciamo gli oggetti nel mondo?

Come visto nella Lezione 1, il nostro sistema visivo è particolarmente sensibile al contrasto locale di luminanza. Questo significa che è molto efficace nel rilevare linee e contorni. Tuttavia, il cervello non elabora il mondo visivo solo tramite una insieme di “rilevatori di pixel” con campi recettivi centro-periferia: esistono neuroni che combinano i campi recettivi di più neuroni con centri adiacenti nello spazio. In questo modo si generano neuroni visivi che non sono semplicemente sensibili al contrasto in un punto, ma che rispondono a linee o bordi estesi con orientamenti specifici all'interno del loro campo recettivo — una proprietà chiamata *selettività all'orientamento*.

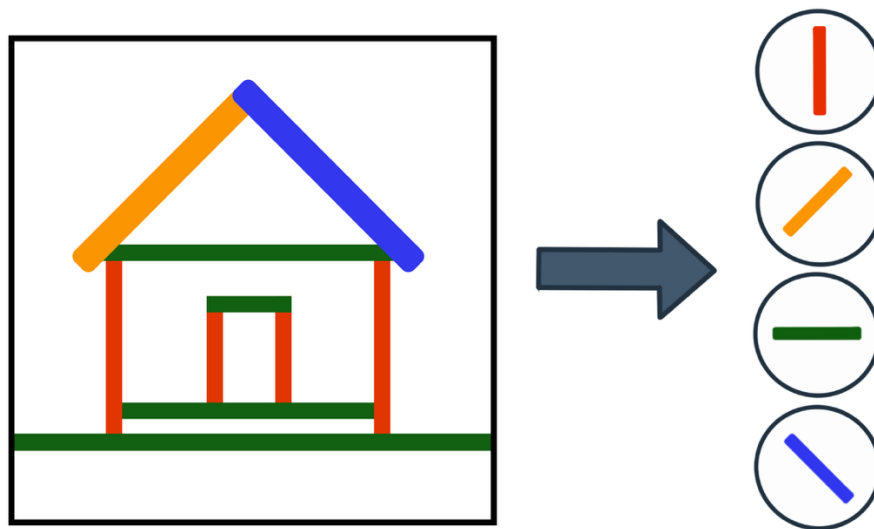


Figura 12. Esempio: una casa potrebbe sembrare un singolo oggetto familiare - ma il tuo cervello la scompone decomponendo in molte linee e bordi di angoli diversi.

Obiettivo

Costruire e testare due cellule gangliari retiniche per modellare la selettività all'orientamento e utilizzare la loro risposta combinata per generare un rilevatore di forme. Prima prova i circuiti attivando diverse combinazioni di LED (in modalità *statica* della GUI). Poi, usa il Strumento di Stimolo Visivo per creare una forma che risulti dalla combinazione delle due linee orientate che stimolano RGC1 e RGC2.

Attività #1: costruire una cellula gangliare che rileva una linea verticale.

Configura RGC1 in modo che risponda solo a una linea verticale sottile in una posizione specifica della matrice di fotorecettori. La cellula gangliare non dovrebbe rispondere a un punto di luce, né

dovrebbe rispondere a una linea della stessa lunghezza di qualsiasi altra orientazione/spessore o centrata in una parte diversa della matrice di fotorecettori.

Attività #2: costruire una seconda cellula gangliare che rileva una linea diagonale.

Configura RGC2 in modo che risponda a una linea dello stesso spessore dell'Attività #1, ma solo quando la linea è in un'orientazione diagonale. Questo secondo neurone gangliare non deve rispondere a una linea di qualsiasi altra orientazione o spessore, né a una linea della stessa orientazione centrata in una parte diversa della matrice di fotorecettori.

Attività n. 3: costruire due cellule gangliari che rilevano linee verticali di spessori differenti.

Configura RGC1 e RGC2 in modo che entrambe rispondano a linee verticali, ma con una che risponde selettivamente a una linea sottile e l'altra che risponde selettivamente a una linea spessa.

Sfida: costruire un rilevatore di forme con campi recettivi selettivi all'orientamento.

Combina le risposte di due cellule gangliari selettive all'orientamento per rilevare una forma specifica, risultante dalla combinazione delle linee che attivano RGC1 e RGC2. Ad esempio, puoi costruire un rilevatore per X, T, L o +.

Per rendere la sfida più interessante, dovrai prima costruire un circuito con un buzzer che suoni solo quando la forma 'target' è presente — cioè quando entrambe le cellule ganglionari sono attivate. Consulta il Manuale Utente di RetINaBox (pp. 14–15) per istruzioni sul circuito del buzzer. Una volta realizzato, collega gli output digitali (3.3V) delle due cellule ganglionari e una delle masse al circuito del buzzer (vedi Fig. 13). Se il cablaggio è corretto, il buzzer suonerà solo in presenza della forma scelta. Questo è simile a quanto facevano Hubel e Wiesel nei loro esperimenti sulla selettività all'orientamento nella corteccia visiva dei gatti, collegando il segnale di registrazione a un altoparlante per "ascoltare" la risposta dei neuroni agli stimoli visivi.

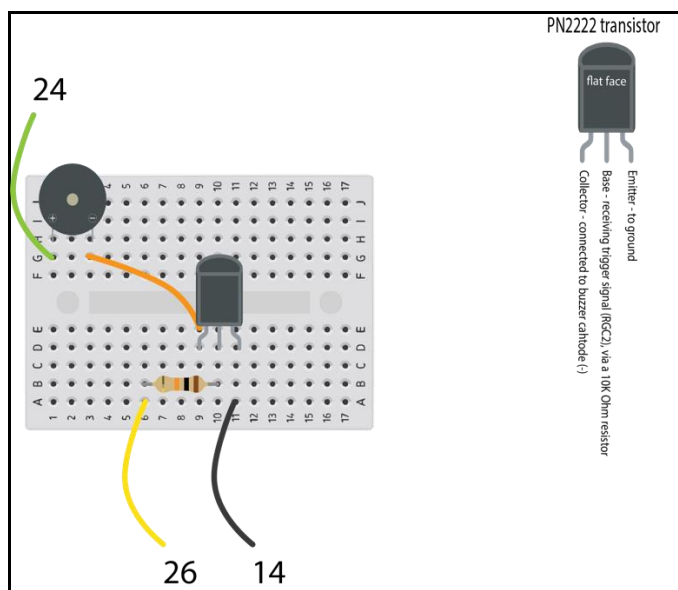


Figura 13. Cablaggio del circuito del buzzer. Si prega di consultare le pagine 14-15 del Manuale Utente RetINaBox per istruzioni dettagliate.

Lezione 3: Selettività Direzionale

Fino ad ora, abbiamo visto che alcuni neuroni visivi sono sintonizzati sulla dimensione e sulla posizione di uno stimolo visivo (Lezione 1), oppure sull'orientamento di una linea (Lezione 2). Ma esistono neuroni che rispondono anche alla **direzione del movimento**, attivandosi soprattutto quando qualcosa si muove in una certa direzione nel campo visivo.

Perché è importante? Le risposte selettive alla direzione aiutano il nostro a distinguere se qualcosa si avvicina o si allontana (vedi **Fig. 14**) e a differenziare i movimenti auto-generati (spostando corpo, testa o occhi) dai movimenti esterni, come un uccello che vola nel cielo.



Figura 14. Esempio: la rilevazione del movimento nel mondo visivo può essere importante per molteplici compiti. Gli animali, come i pesci nell'esempio qui presentato, si avvalgono di questa capacità per distinguere le potenziali prede e altri pesci (es., a sinistra; piccoli pesci che nuotano in direzioni casuali) dai predatori (a destra; grande squalo in avvicinamento rapido).

Per generare queste preferenze direzionali, il nostro sistema visivo sfrutta il fatto che uno stimolo in movimento attiva in sequenza fotorecettori spazialmente sfalsati lungo la traiettoria. I fotorecettori sul fronte del movimento rispondono per primi, quelli al centro subito dopo, e infine quelli in coda. Questo genera segnali ritardati che il sistema visivo utilizza per calcolare la direzione del movimento (vedi Fig. 15).

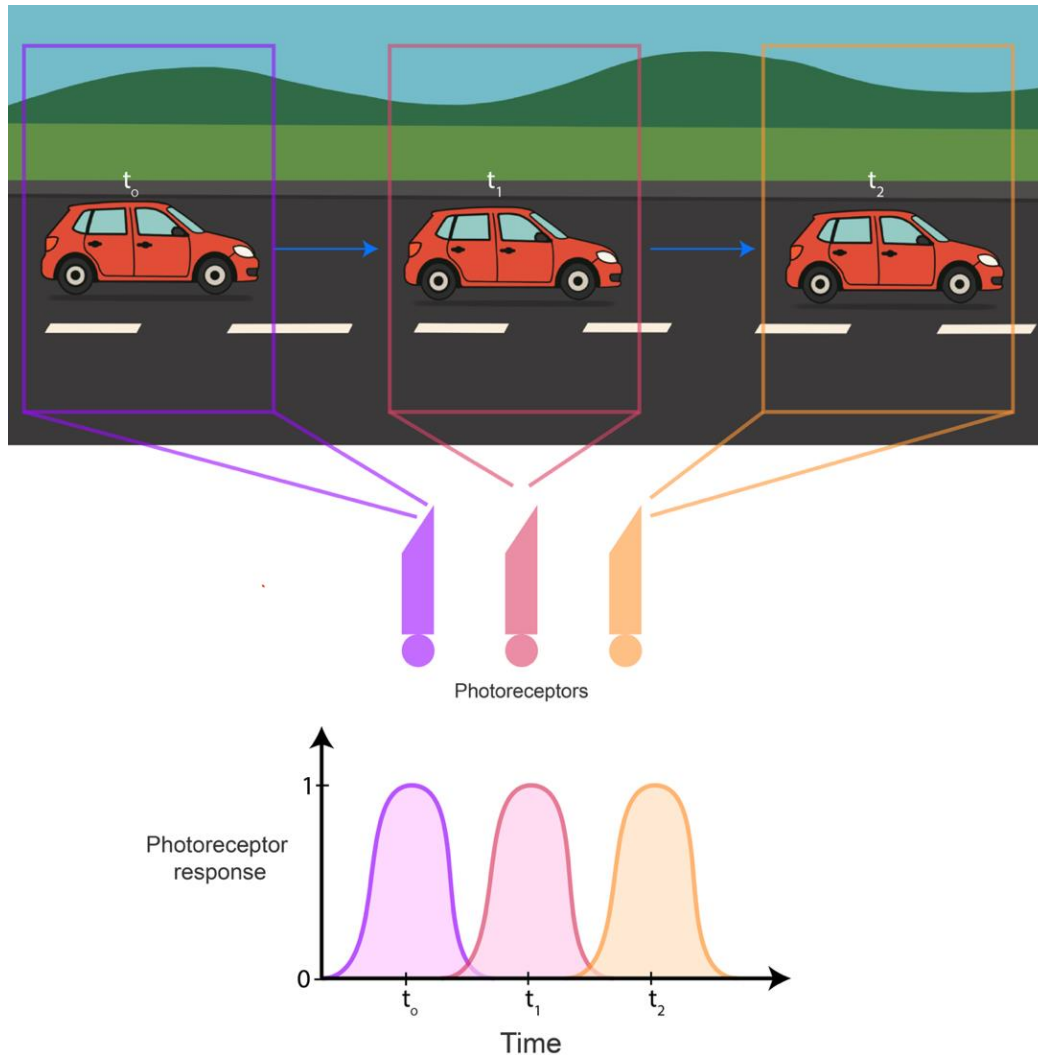


Figura 15. Quando un oggetto si muove attraverso il campo visivo, diversi fotorecettori con campi recettivi spazialmente offset vengono attivati in sequenza, nell'ordine in cui "vedono" l'oggetto. I fotorecettori all'estremità anteriore del movimento (sinistra) rispondono per primi, seguiti da quelli nella parte centrale, e infine dall'estremità posteriore (destra). Questa attivazione sequenziale produce segnali temporali ritardati che il sistema visivo può utilizzare per rilevare la direzione del movimento.

Obiettivo: costruire un circuito che imiti una cellula gangliare retinica selettiva alla direzione, per capire come il sistema visivo rilevi il movimento. Prima, testare il circuito attivando diverse combinazioni di LED (utilizzare la modalità 'Movimento'/'Motion' della GUI, selezionando una velocità e una direzione). Poi prova muovendo la mano davanti a RetINaBox.

La selettività direzionale risiede nelle connessioni anatomiche asimmetriche che elaborano in modo differenziale gli stimoli visivi che si muovono in una direzione rispetto all'altra. In RetINaBox, queste differenze asimmetriche possono essere implementate con **ritardi temporali** che possono essere aggiunti in modo asimmetrico nel Gestore di Connettività lungo l'asse destro-sinistro della matrice di fotorecettori 3 x 3. Questi ritardi garantiscono che gli input a un neurone gangliare retinico (RGC) si sommino solo quando uno stimolo si muove nella direzione preferita del RGC, provocando così l'attivazione del neurone gangliare.

Nota

- *In questa sezione, si consiglia di muovere la mano avanti e indietro tra i LED e i fotorecettori per testare la funzionalità del circuito. Non raccomandiamo di utilizzare lo Strumento di Stimolo Visivo per testare stimoli in movimento, a causa di artefatti ai bordi che possono generare risposte spurie quando i confini esterni dello Strumento di Stimolo Visivo entrano ed escono dal campo visivo di RetINaBox.*
- *A seconda dei ritardi temporali assegnati a ciascun fotorecettore, potrebbe essere necessario testare diverse velocità di stimolo (cioè muovere la mano a diverse velocità) per osservare l'attivazione delle cellule gangliari specificamente in risposta a una singola direzione di movimento.*

Attività #1: costruire una cellula gangliare con selettività direzionale verso sinistra ←

Costruire un circuito in cui RGC1 risponde a una linea verticale che si muove verso sinistra. Verifica il circuito muovendo la mano attraverso il proprio matrice in entrambe le direzioni, sinistra e destra.

Attività #2: costruire una cellula gangliare con selettività direzionale verso destra →

Successivamente, costruire un secondo circuito in cui RGC2 risponde a una linea verticale che si muove verso destra. Verifica il circuito muovendo la mano attraverso la matrice in entrambe le direzioni, destra e sinistra.

Attività #3: costruire una cellula gangliare con selettività direzionale per i movimenti lenti e un'altra con preferenza per i movimenti veloci →

Costruire un circuito in cui RGC1 risponde a una linea verticale che si muove lentamente verso destra, mentre RGC2 risponde a una linea verticale che si muove nella stessa direzione, ma più veloce. Testa il tuo circuito muovendo la mano verso destra attraverso la matrice a varie velocità.

**Suggerimento – prova a variare i ritardi temporale (“Time Delay” nel GUI per generare preferenze di velocità diverse.*

Sfida: Gioco distruzione dei blocchi con circuiti a selettività direzionale

Distruzione dei blocchi (“Block Breaker”) è un classico videogioco in cui i giocatori controllano una barra muovendola verso sinistra e a destra per rimbalzare una pallina e rompere file di blocchi. L'obiettivo è di eliminare tutti i blocchi senza far cadere la pallina. Il tuo compito è configurare due cellule gangliari con selettività direzionale opposta (una per il movimento a sinistra e l'altra per il movimento a destra) e usarle come comandi per il gioco integrato nella GUI di RetINaBox.

- 1) Nel Gestore di Connettività (Connectivity Manager), configura RGC1 in modo che sia selettiva solo per il movimento a sinistra e RGC2 solo per il movimento a destra.
- 2) Carica il gioco. Dal menu della GUI, vai su *Block Breaker* (Lessons > Lesson 3 > Block Breaker).
- 3) Ora sei pronto per giocare (Fig. 16)! Muovendo la mano a sinistra o a destra davanti a RetINaBox controllerai la barra: l'attivazione di RGC1 la sposterà a sinistra, quella di RGC2 a destra.

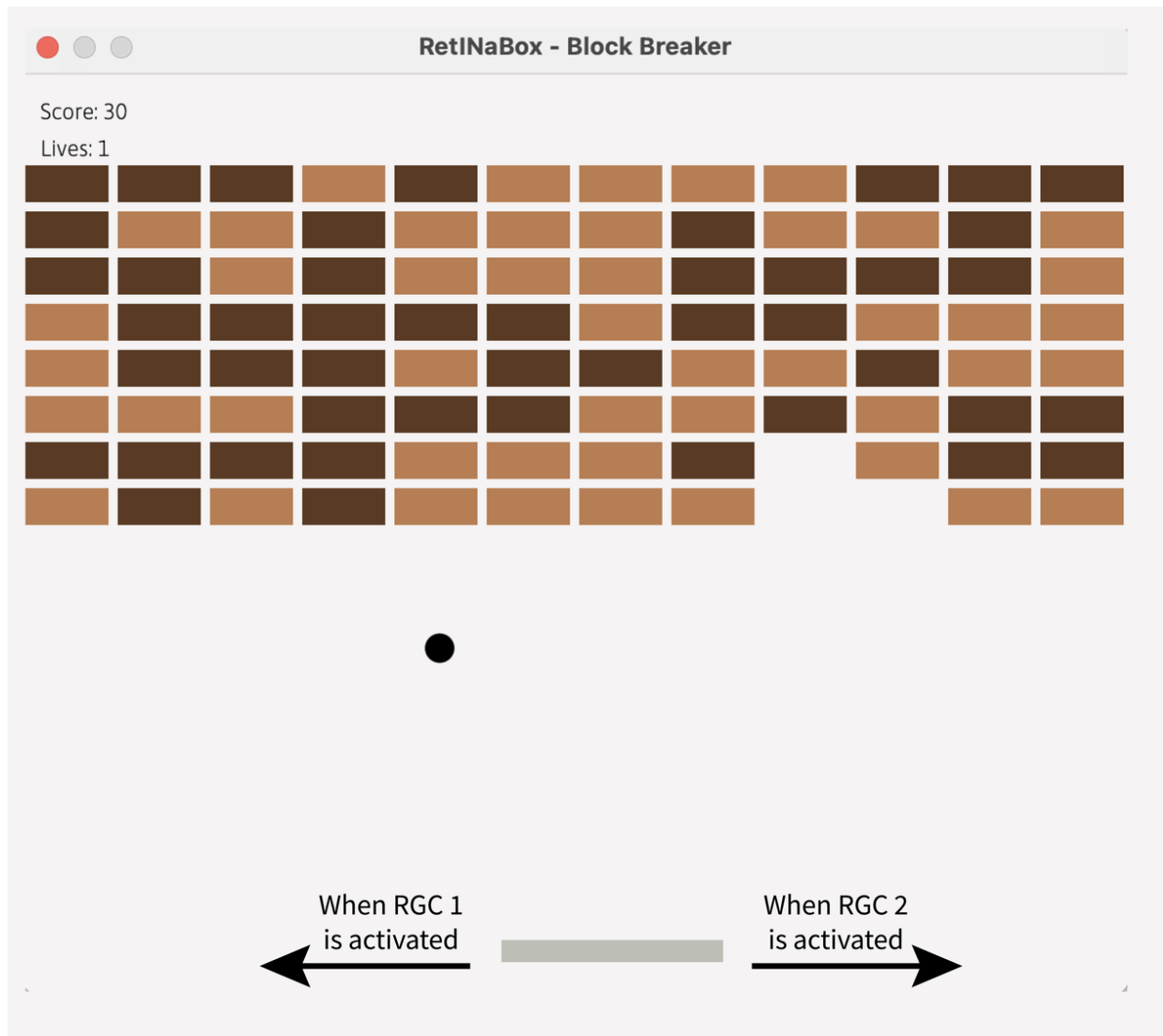


Figura 16. “Block Breaker” nell’interfaccia RetINaBox. L’attivazione di RGC1 dovrebbe muovere il paddle a sinistra, mentre l’attivazione di RGC2 dovrebbe muovere il paddle a destra.

Lezione 4: Modalità di scoperta (“*Discovery Mode*”)

Benvenuto nella Modalità di scoperta! Sei arrivato fin qui, il che significa che sei pronto a cimentarti in veri esperimenti! In questa sezione potrai provare cosa significa fare il neuroscienziato della visione!

Finora hai esplorato campi recettivi centro-periferia, selettivi all’orientamento e selettivi alla direzione, tutti circuiti già caratterizzati dagli scienziati della visione. Ma la ricerca per capire che cosa “piace vedere” ai neuroni è tutt’altro che conclusa. Ancora oggi, i neuroscienziati lavorano per scoprire quali tipi di stimoli attivano meglio diversi neuroni visivi in varie parti del cervello. Ora tocca a te scoprire quali stimoli visivi attivano meglio alcuni neuroni visivi recentemente

scoperti e poi scoprire quali proprietà di connettività del circuito sono alla base della loro selettività.

Nella Modalità di scoperta (vedi Fig. 17), ci sono tre livelli di difficoltà (Facile, Moderato, Difficile), ciascuno con le proprie sfide. Per completare ogni sfida, dovrai scoprire (cioè dare la risposta corretta) lo stimolo visivo ‘target’ della cellula gangliare misteriosa (lo stimolo che la attiva) e la connettività del circuito (le impostazioni nel Gestore di Connettività) che producono quella risposta selettiva alle caratteristiche. Per ogni sfida, inizierai con 100 punti, ma le risposte errate ti costeranno 5 punti. L’obiettivo è completare ogni sfida con il punteggio più alto possibile.

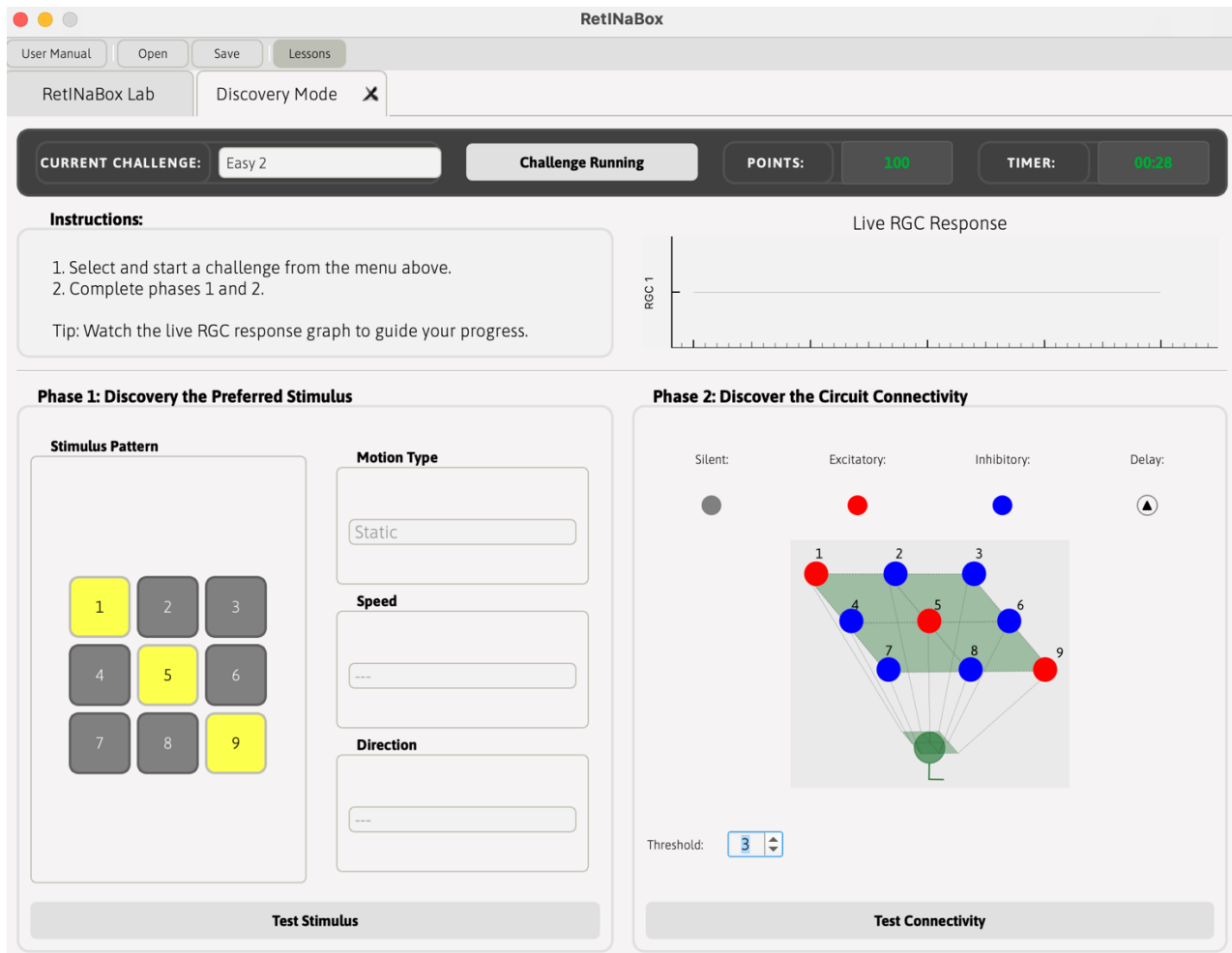


Figura 17. Interfaccia della Modalità di scoperta. Ogni sfida ha due fasi: (1) scoprire lo stimolo preferito (a sinistra) e (2) scoprire la connettività del circuito (a destra)

Ogni sfida nella Modalità di scoperta ha due passaggi:

(1) Scoprire lo Stimolo Preferito

Dal tab Menu, naviga a 'Modalità di scoperta' (Lessons > Lesson 4 > Discovery Mode). Dopo aver scelto un circuito misterioso dal menu, il primo compito è capire a che cosa risponde la cellula

gangliare. Preferisce una forma specifica? Una particolare direzione di movimento? Usa il tuo Strumento di Stimolo Visivo per testare diversi stimoli statici. Usa la tua mano per testare stimoli selettivi per la direzione. Le cellule misteriose in RetINaBox sono molto selettive, quindi assicurati di essere certo prima di inviare la tua risposta. Alcune cellule gangliari misteriose preferiscono stimoli statici, altre preferiscono stimoli in movimento!

(2) Scoprire la Connettività del Circuito

Una volta che hai scoperto a cosa è sintonizzata la cellula gangliare, la sfida successiva è scoprire come ottiene questa selettività. Come sono connessi i fotorecettori alla cellula gangliare? Quali tipi di ritardi, polarità o disposizioni spaziali dei fotorecettori danno origine alla risposta selettiva della cellula gangliare? Imposta i parametri corretti nel *Gestore di Connettività* per replicare la selettività che hai individuato.

Buona fortuna! **Il finanziamento del tuo laboratorio dipende dal tuo successo!**

Appendice

Soluzioni Lezione 1: Centro-Periferia

Attività #1: costruire un rilevatore di punti con un campo recettivo centro-ON/periferia-OFF.

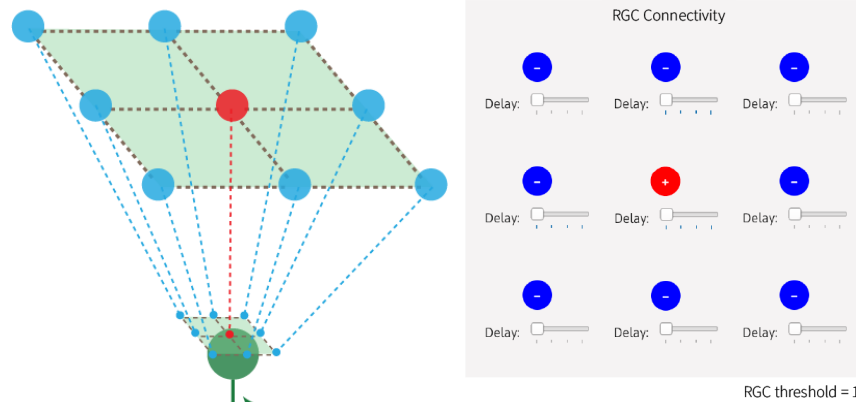
Il fotorecettore centrale (rosso) è eccitatorio (+): attiva la cellula gangliare quando rileva luce.

- Collega il fotorecettore centrale a una cellula gangliare con **polarità positiva** (eccitatoria).

I fotorecettori periferici (blu) sono inibitori (-): sopprimono la cellula gangliare quando vengono attivati.

- Collega ciascun fotorecettore periferico alla stessa cellula gangliare con polarità negativa (inibitoria).

Imposta la soglia della cellula gangliare a 1. La cellula gangliare si attiverà solo quando il fotorecettore centrale riceve luce. Tuttavia, se anche uno dei fotorecettori periferici è illuminato, la loro inibizione annullerà l'eccitazione e la cellula gangliare non si attiverà.



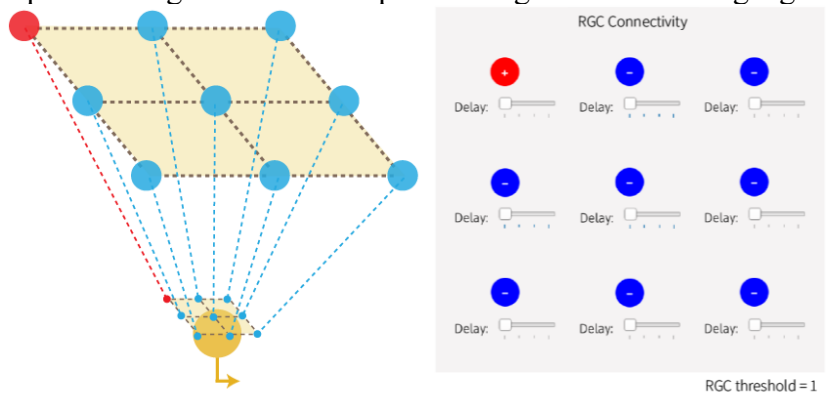
Lezione 1, Attività 1: Input e cablaggio di RGC1 (cellula centro-periferia con campo recettivo centrale)

Attività #2: costruisci un secondo rilevatore di punti con una posizione del campo recettivo diversa.

Si prega di notare che i seguenti sono solo due possibili esempi di soluzioni corrette. Tuttavia, potresti aver selezionato qualsiasi campo recettivo all'interno della matrice 3 x 3 per qualsiasi cellula gangliare.

Esempio di soluzione 1

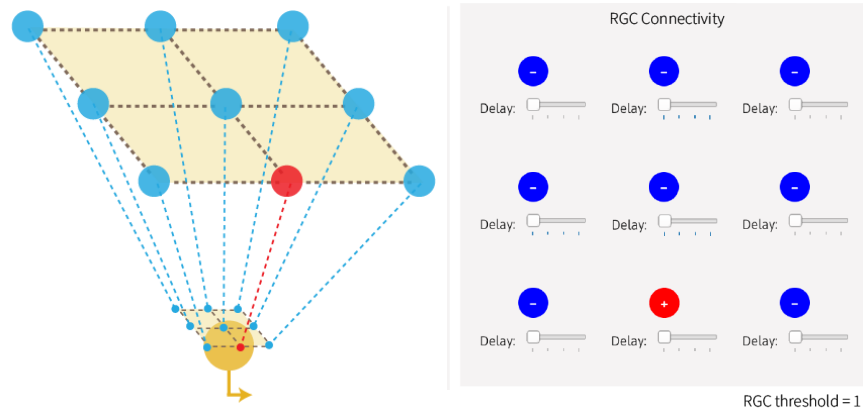
Ingressi per RGC2: Un fotorecettore angolare (rosso) è eccitatorio (+): attiva la cellula gangliare quando rileva luce. Tutti gli altri fotorecettori di periferia (blu) sono inibitori (-): sopprimono la cellula gangliare quando vengono attivati. Imposta la soglia della cellula gangliare a 1.



Lezione 1, Attività 2 – Esempio di soluzione: Input e cablaggio di RGC2 (cellula centro-periferia con un campo recettivo nell'angolo in alto a sinistra)

Esempio di soluzione 2

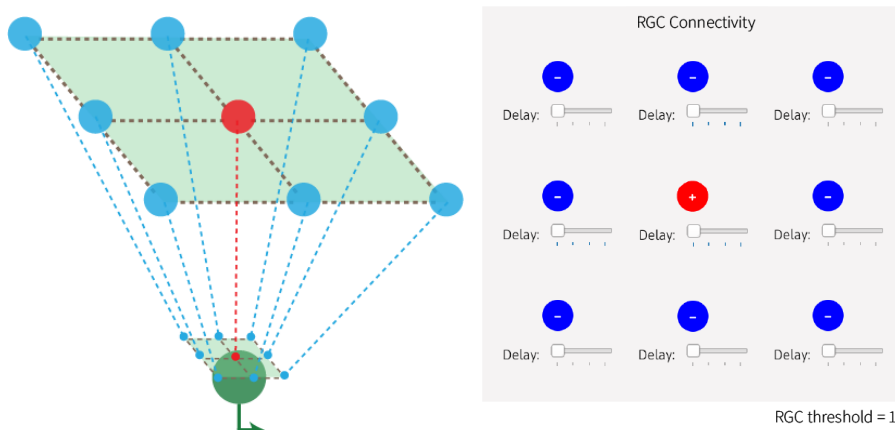
Ingressi per RGC2: Un fotorecettore di bordo (rosso) è eccitatorio (+): attiva la cellula gangliare quando rileva luce. Tutti gli altri fotorecettori di periferia (blu) sono inibitori (-): sopprimono la cellula gangliare quando vengono attivati. Imposta la soglia della cellula gangliare a 1.



Lezione 1, Attività 2 – Esempio di soluzione alternativa: Input e cablaggio per RGC2, il cui campo recettivo si trova sul bordo della matrice (cellula centro-periferia con un campo recettivo sul bordo inferiore)

Attività #3: costruisci due rilevatori di punti con preferenze per punti di dimensioni diverse.

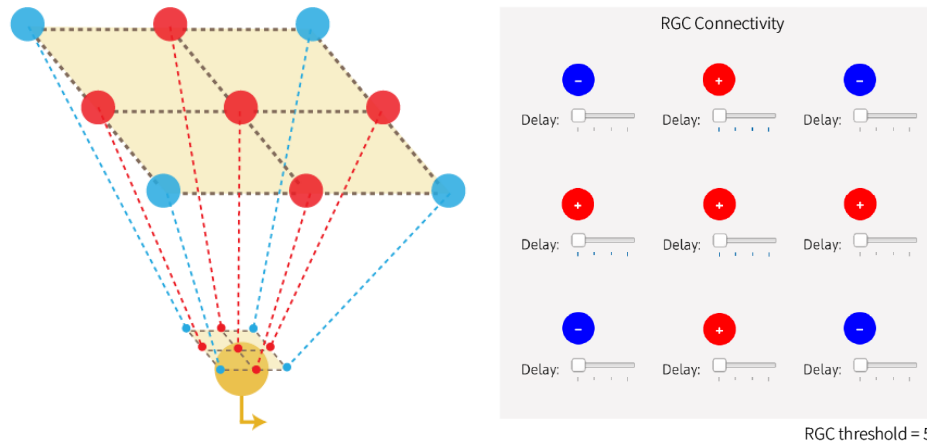
Ingressi per RGC1 (rilevatore di piccolo punto): come descritto nelle Soluzioni all'Attività #1: Il fotorecettore centrale (rosso) è eccitatorio (**polarità positiva, +**), mentre tutti gli altri fotorecettori di periferia (blu) sono inibitori (polarità negativa, -). Imposta la soglia della cellula gangliare a 1. Questa cellula gangliare si attiverà solo in risposta a un piccolo punto di luce che illumina il fotorecettore centrale.



Lezione 1, Attività 3 – Input e cablaggio per RGC1 (cellula centro-periferia di piccole dimensioni con campo recettivo centrale)

Ingressi per RGC2 (rilevatore di grande punto): Il fotorecettore centrale (rosso) è eccitatorio (polarità positiva, +) e attiverà la cellula gangliare quando rileva luce. Tuttavia, i fotorecettori di periferia più vicini (direttamente sopra, sotto e ai lati) sono anch'essi eccitatori (+). I fotorecettori angolari (blu) sono inibitori (polarità negativa, -): sopprimono la cellula gangliare se lo stimolo diventa troppo grande. Imposta la soglia della cellula gangliare a 5. Questa cellula gangliare si

attiverà in risposta a un grande punto di luce che illumina il fotorecettore centrale e i suoi fotorecettori di periferia laterali. Tuttavia, se il punto diventa troppo grande e uno dei fotorecettori angolari di periferia è anch'esso illuminato, questa inibizione aggiuntiva sottrarrà dall'eccitazione, e la cellula gangliare non raggiungerà la soglia per attivarsi.

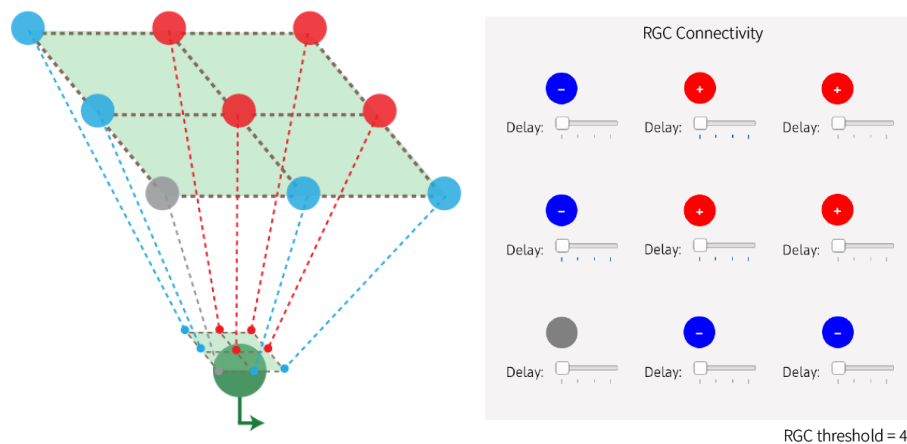


Lezione 1, Attività 3 – Input e cablaggio per RGC2 (cellula centro-periferia di grandi dimensioni)

Sfida: Decifrazione con rilevatori di punti

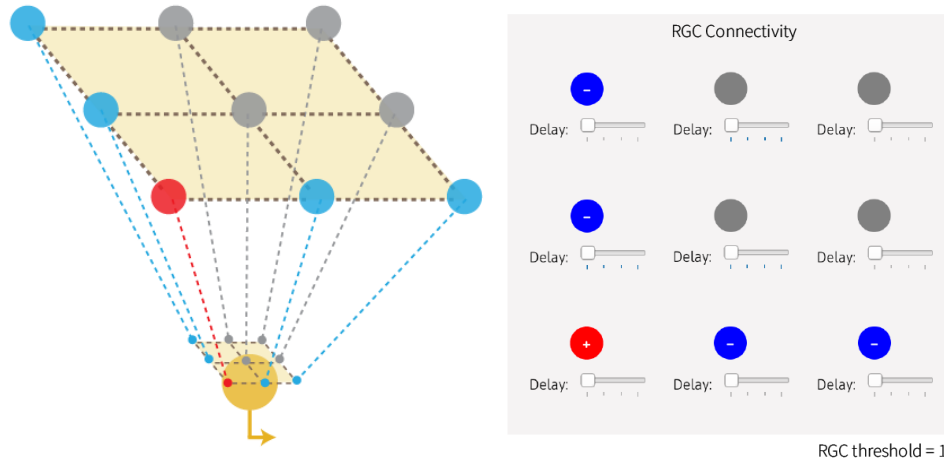
Sfida #1

Ingressi per RGC1: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando i quattro fotorecettori in alto a destra sono attivati. Questi quattro fotorecettori dovrebbero avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori di periferia hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -). Il fotorecettore in basso a sinistra è lasciato non connesso (grigio), così RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata a 4.



Lezione 1, Sfida 1: Input e cablaggio per RGC1 (rilevatore di grande punto con posizione del campo recettivo in alto a destra)

Ingressi per RGC2: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando il fotorecettore in basso a sinistra è attivato. Questo fotorecettore dovrebbe avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori di periferia hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), tranne i 4 fotorecettori in alto, corrispondenti al centro del campo recettivo di RGC1 (vedi sopra), che dovrebbero essere lasciati non connessi (grigio). Questo assicura che RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata a 1.

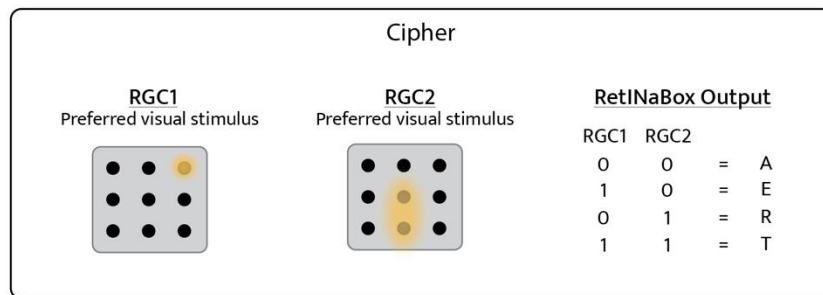
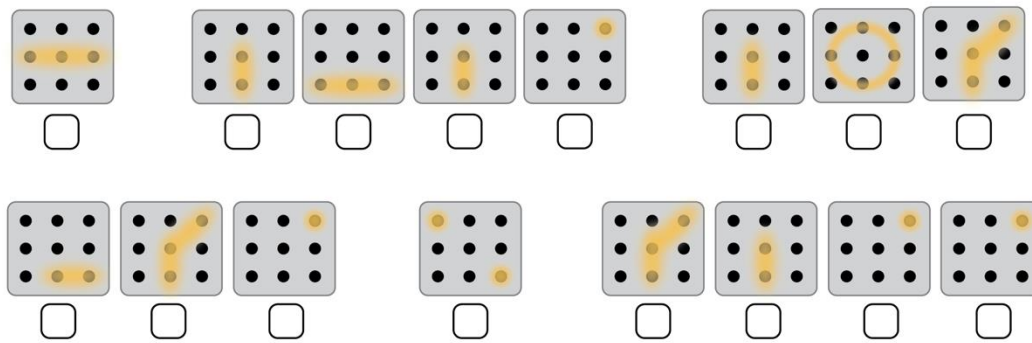


Lezione 1, Sfida 1: Input e cablaggio per RGC2 (rilevatore di piccolo punto con campo recettivo in basso a sinistra)

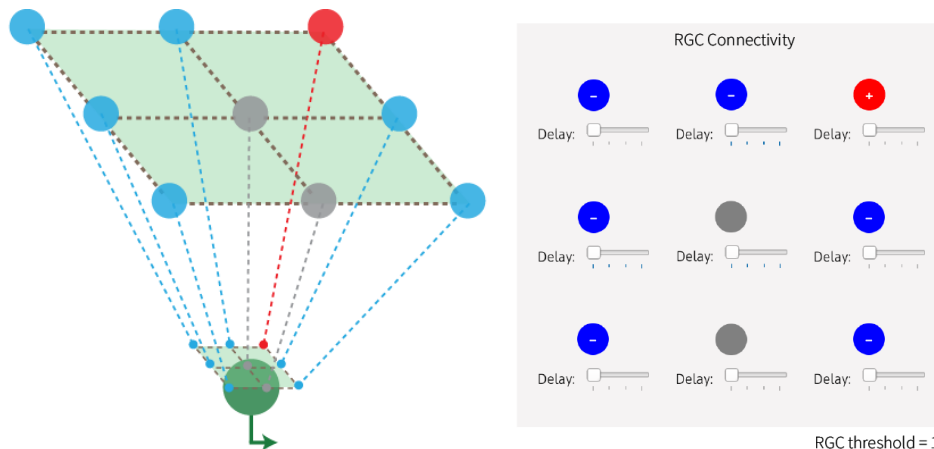
Messaggio segreto #1 (messaggio inglese): ***Dear reader, dread red area.***

Sfide Extra

Sfida #2



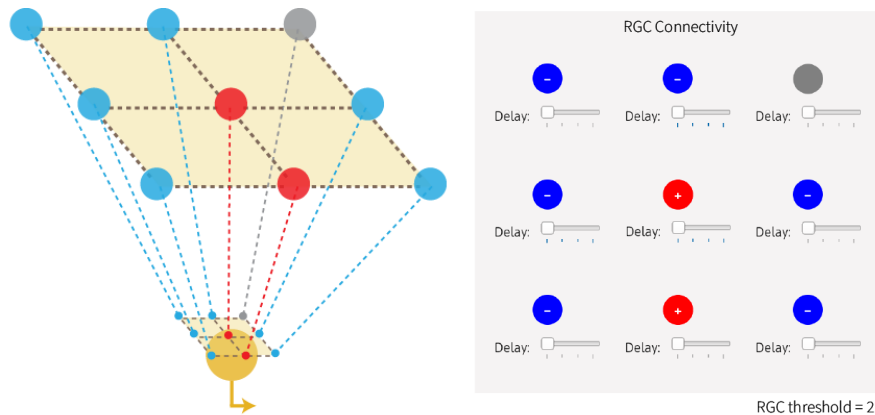
Ingressi per RGC1: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando il fotorecettore angolare in alto a destra è attivato. Questo fotorecettore dovrebbe avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori di periferia hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), tranne i fotorecettori centrale e in basso nella colonna centrale, che sono lasciati silenti (grigio), così RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata a 1.



Lezione 1, Sfida 2: Input e cablaggio per RGC1 (rilevatore di punto con campo recettivo in alto a destra)

Ingressi per RGC2: Questa cellula è selettiva per un breve segmento di linea verticale al centro della matrice. Risponde solo quando i due fotorecettori nella colonna centrale in basso sono attivati. Questi due fotorecettori dovrebbero avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori di periferia hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), tranne il fotorecettore

connesso al centro di RGC1, che dovrebbe essere lasciato silente. La soglia della cellula gangliare è impostata a 2.



Lezione 1, Sfida 2: Ingressi e cablaggio per RGC2 (rilevatore di segmento di linea verticale)

Messaggio segreto #2 (messaggio inglese): ***A rare rat ate a tree.***

Sfida #3

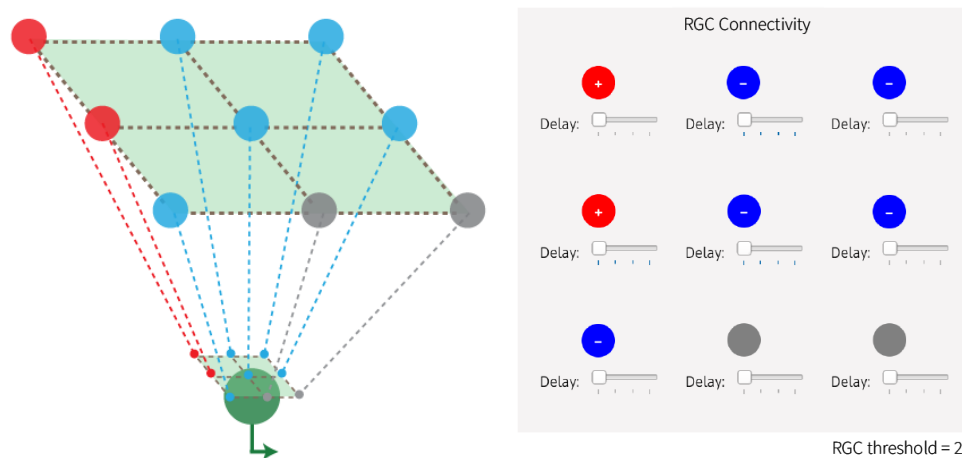
Visual stimuli for RGC1 and RGC2 are shown as 3x3 grids of dots. RGC1 stimuli show a vertical line of dots in the top-left corner. RGC2 stimuli show a horizontal line of dots in the bottom-right corner.

Cipher

RGC1 Preferred visual stimulus		RGC2 Preferred visual stimulus		RetINaBox Output	
RGC1	RGC2	RGC1	RGC2		
0	0	=	A		
1	0	=	I		
0	1	=	D		
1	1	=	M		

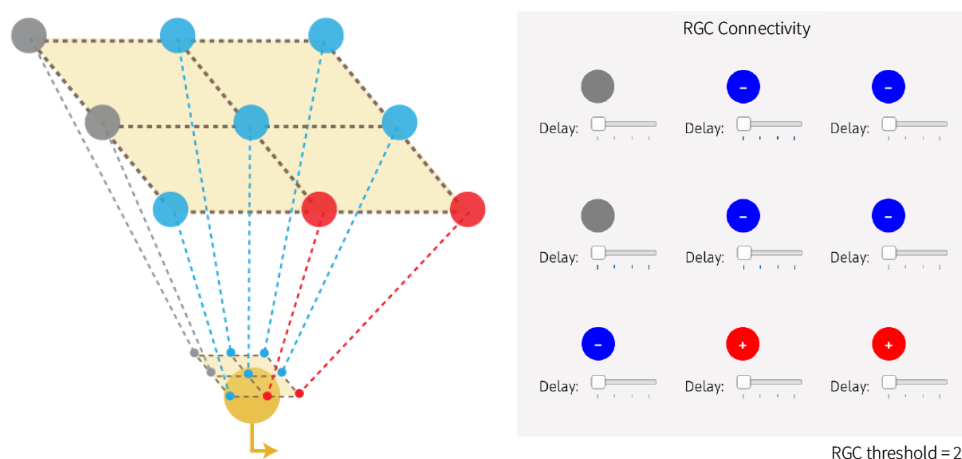
Ingressi per RGC1: Questa cellula è selettiva per un breve segmento di linea verticale nell'angolo in alto a sinistra della matrice. Risponde solo quando i due fotorecettori nella colonna in alto a sinistra sono attivati. Questi due fotorecettori dovrebbero avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori di periferia hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), tranne i

fotorecettori centrale e destro nella riga inferiore, che sono lasciati silenziosi (grigio), così RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata a 2.



Lezione 1, Sfida 3: Ingressi e cablaggio a RGC1 (rilevatore di segmenti di linea verticale)

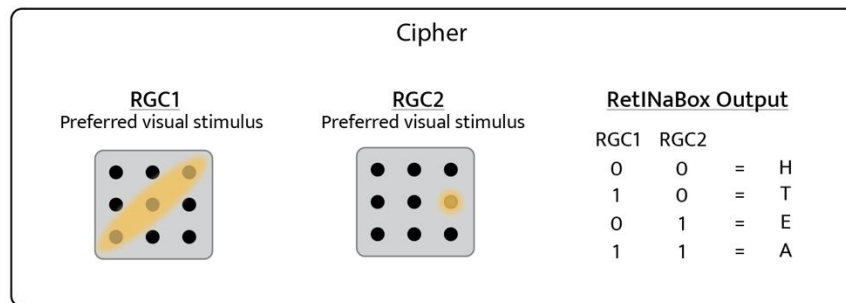
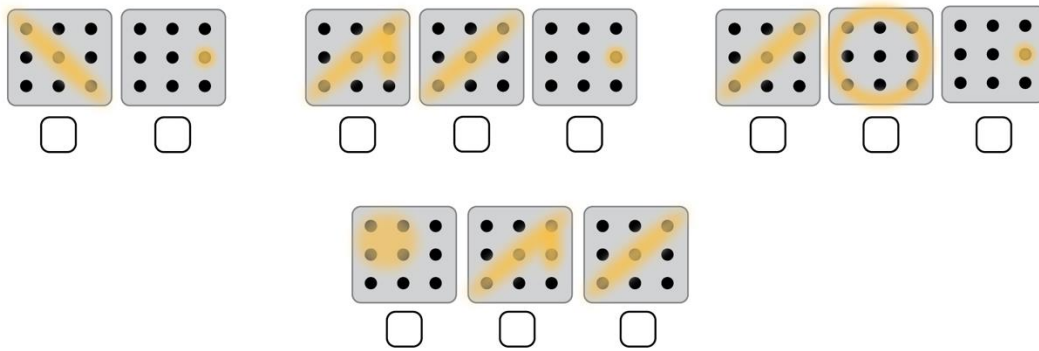
Ingressi per RGC2: Questa cellula è selettiva per un breve segmento di linea orizzontale nell'angolo in basso a destra della matrice. Risponde solo quando i due fotorecettori nella riga in basso a destra sono attivati. Questi due fotorecettori devono avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione dei fotorecettori centrali e superiori nella colonna sinistra, che sono lasciati silenziosi (grigi), così RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata su 2.



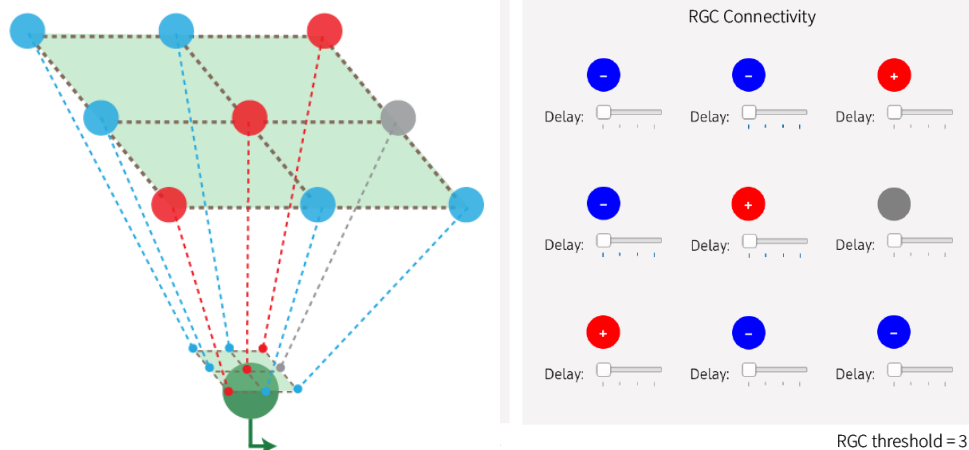
Lezione 1, Sfida 3: Ingressi e cablaggio a RGC2 (rilevatore di segmenti di linea orizzontale)

Messaggio segreto #3: **Mamma Mia! I am mad.**

Sfida #4



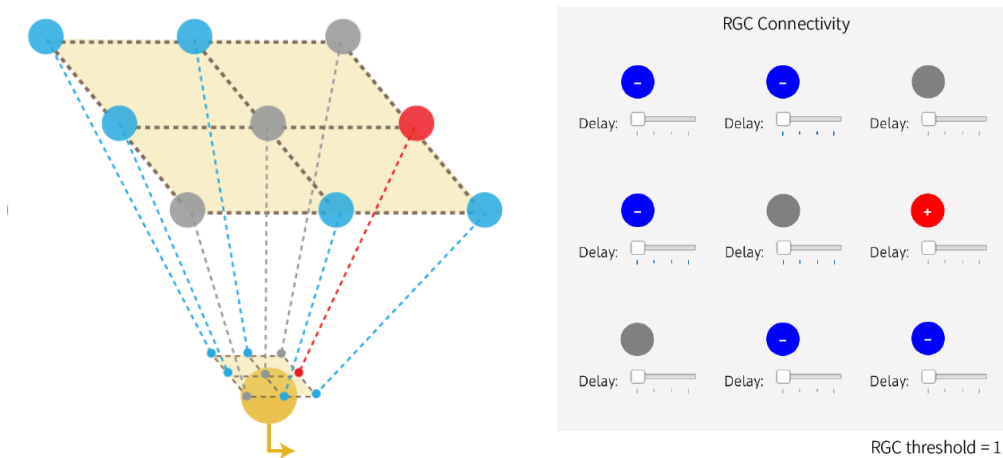
Ingressi per RGC1: Questa cellula selettiva per l'orientamento (introdotta nella Lezione 2) è selettiva per una linea diagonale orientata a 45°. Risponde solo quando i tre fotorecettori lungo la diagonale a 45° sono attivati. Questi fotorecettori devono avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione del fotorecettore connesso al centro di RGC2, che deve essere lasciato silenzioso. La soglia della cellula gangliare è impostata su 3.



Lezione 1, Sfida 4: Ingressi e cablaggio a RGC1 (cellula selettiva per l'orientamento).

Ingressi per RGC2: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando il fotorecettore destro nella riga centrale è attivato. Questo fotorecettore deve avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +).

+) . Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione dei fotorecettori lungo l'asse diagonale centrale (45°), che sono lasciati silenziosi (grigi), così RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata su 1.



Lezione 1, Sfida 4: Ingressi e cablaggio a RGC2 (rilevatore di punti con campo recettivo a destra).

Messaggio segreto #4 (inglese): ***He ate the hat.***

Sfida #5

☐

☐

☐

☐

☐

☐

☐

Cipher

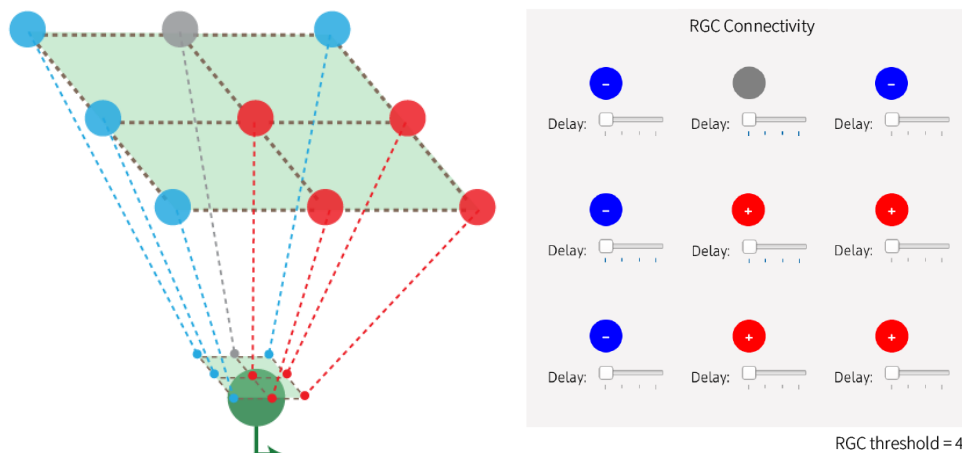
RGC1
Preferred visual stimulus

RGC2
Preferred visual stimulus

RetINaBox Output			
RGC1	RGC2		
0	0	=	A
1	0	=	B
0	1	=	C
1	1	=	KE

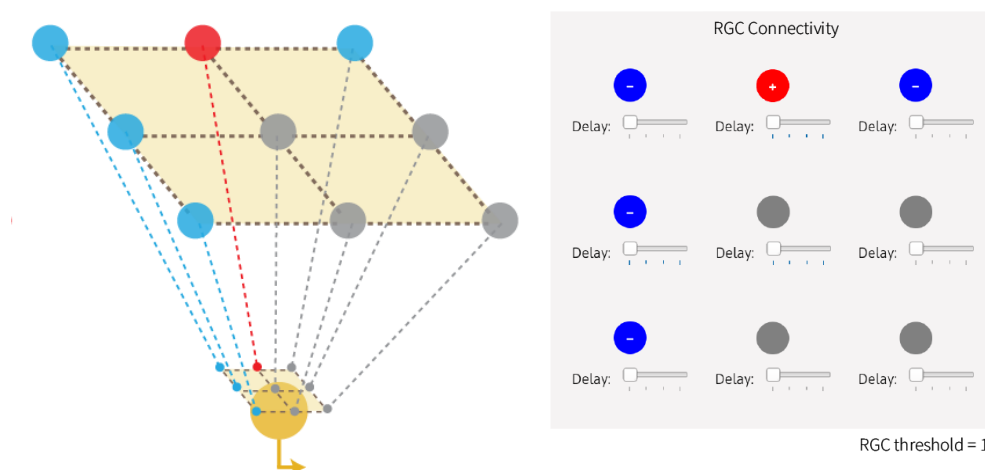
Ingressi per RGC1: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando i quattro fotorecettori nell'angolo in basso a destra sono attivati. Questi quattro fotorecettori devono avere polarità

positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione del fotorecettore connesso al centro di RGC2, che deve essere lasciato silenzioso. La soglia della cellula gangliare è impostata su 4.



Lezione 1, Sfida 5: Ingressi e cablaggio a RGC1 (rilevatore di punti più grande con campo recettivo in basso a destra)

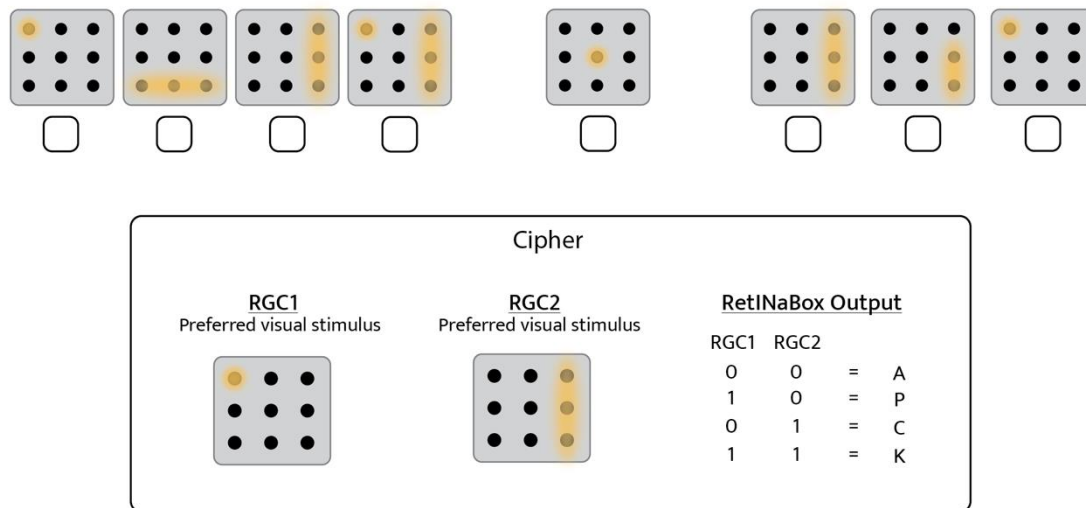
Ingressi per RGC2: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando il fotorecettore centrale nella riga superiore è attivato. Questo fotorecettore deve avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione dei fotorecettori connessi al centro di RGC1, che devono essere lasciati silenziosi. La soglia della cellula gangliare è impostata su 1.



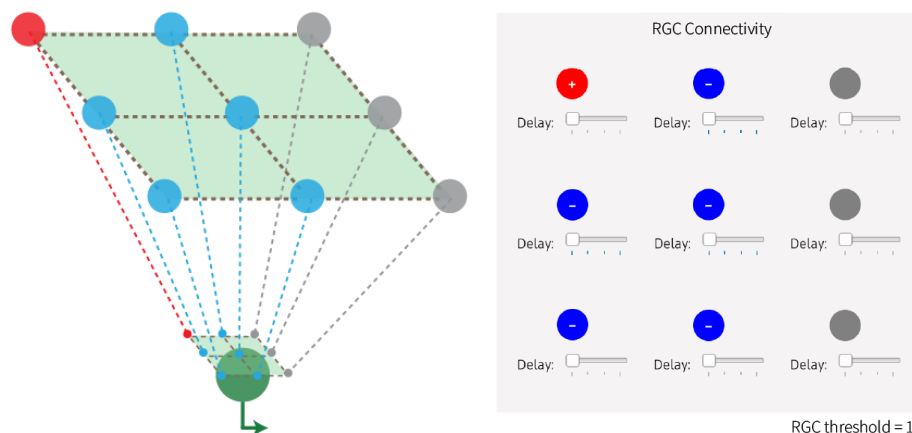
Lezione 1, Sfida 5: Ingressi e cablaggio a RGC2 (rilevatore di punti con campo recettivo centrale in alto).

Messaggio segreto #5 (inglese): **Bake a cake.**

Sfida #6

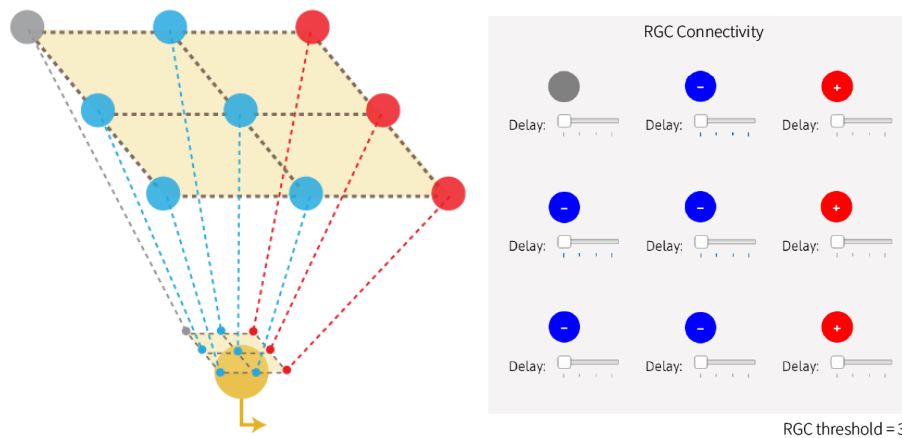


Ingressi per RGC1: Questa cellula centro-periferia risponde solo quando il fotorecettore nell'angolo in alto a sinistra è attivato. Questo fotorecettore deve avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione dei fotorecettori nella colonna destra, che sono lasciati silenziosi (grigi), così RGC1 e RGC2 possano essere co-attivati. La soglia della cellula gangliare è impostata su 1.



Lezione 1, Sfida 6: Ingressi e cablaggio a RGC1 (rilevatore di punti con campo recettivo in alto a sinistra)

Ingressi per RGC2: Questa cellula selettiva per l'orientamento (introdotta nella Lezione 2) è selettiva per una linea verticale sul lato destro della matrice di fotorecettori. Risponde solo quando i tre fotorecettori nella colonna destra sono attivati. Questi fotorecettori devono avere polarità positiva (rossa, eccitatoria, +). Tutti gli altri fotorecettori periferici hanno polarità negativa (blu, inibitoria, -), ad eccezione dei fotorecettori connessi al centro di RGC2, che devono essere lasciati silenziosi. La soglia della cellula gangliare è impostata su 3.



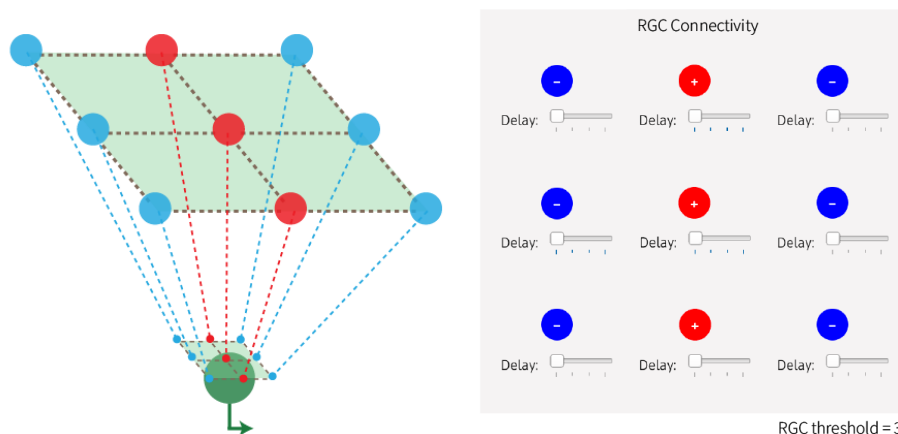
Lezione 1, Sfida 6: Ingressi e cablaggio a RGC2 (cellula selettiva per orientamento)

Messaggio segreto #6 (inglese): **Pack a cap.**

Soluzioni Lezione 2: Selettività all'orientamento

Attività #1: costruire una cellula gangliare che rileva una linea verticale.

Ingressi alla Cellula Gangliare 1: Collega 3 fotorecettori adiacenti in una linea verticale retta (es., colonna centrale) alla cellula gangliare, con polarità positiva (eccitatoria, +). Collega gli altri 6 fotorecettori periferici alla stessa cellula gangliare, con polarità negativa (inibitoria, -). Imposta la soglia della cellula gangliare su 3, così la cellula gangliare si attivi solo quando tutti e 3 i fotorecettori sono attivati.

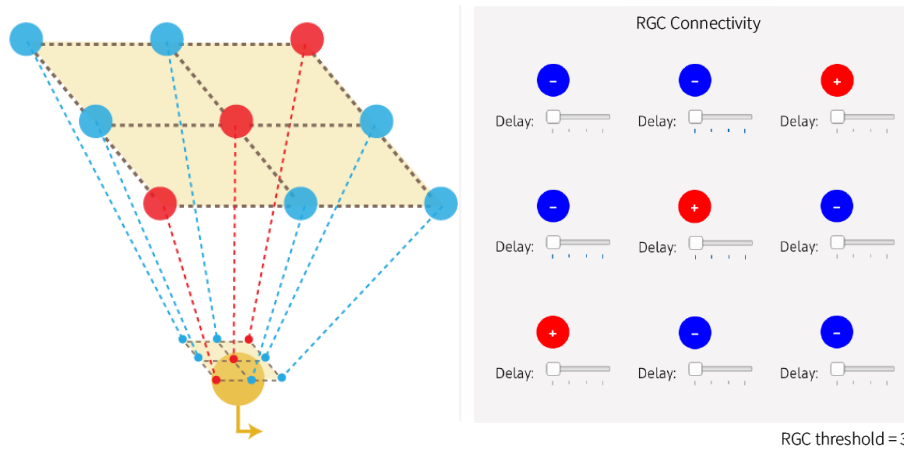


Lezione 2, Attività 1: Ingressi e cablaggio a RGC1 (cellula selettiva per orientamento verticale)

Si prega di notare che quanto sopra rappresenta solo uno dei tre possibili esempi di una soluzione corretta. Tuttavia, avresti potuto selezionare un campo recettivo verticale nella colonna sinistra o destra della matrice 3 x 3.

Attività #2: costruire una seconda cellula gangliare che rileva una linea diagonale.

Ingressi alla Cellula Gangliare 2: Collega 3 fotorecettori lungo la linea diagonale alla cellula gangliare, con una polarità positiva (eccitatoria, +). Collega i 6 fotorecettori off-diagonali alla stessa cellula gangliare, con una polarità negativa (inibitoria, -). Imposta la soglia della cellula gangliare a 3, in modo che la cellula gangliare si attivi solo quando tutti e 3 i fotorecettori sono attivati, ma sarà inibita se uno qualsiasi dei fotorecettori fuori diagonale è attivato.

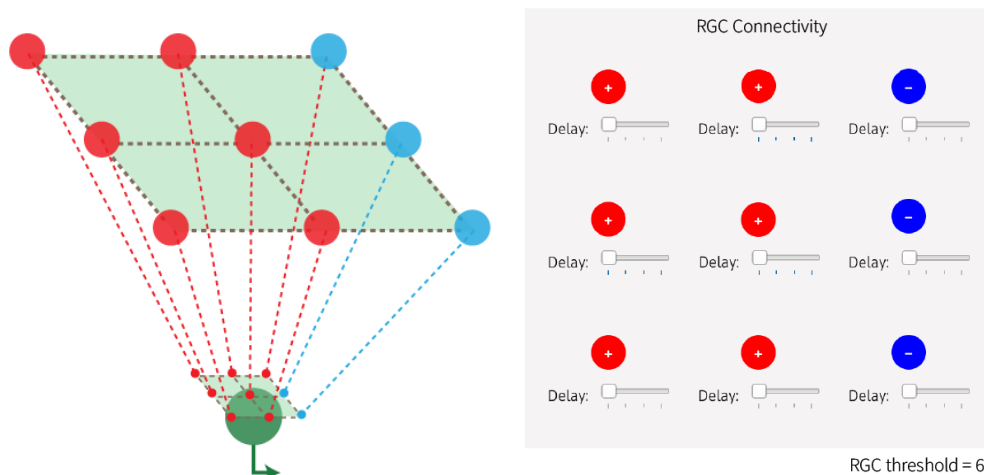


Lezione 2, Attività 2: Ingressi e cablaggio a RGC2 (cellula selettiva per orientamento diagonale)

Si prega di notare che quanto sopra rappresenta solo uno dei due possibili esempi di una soluzione corretta. Tuttavia, avresti potuto selezionare un campo recettivo diagonale orientato a 135° (cioè, l'altro diagonale).

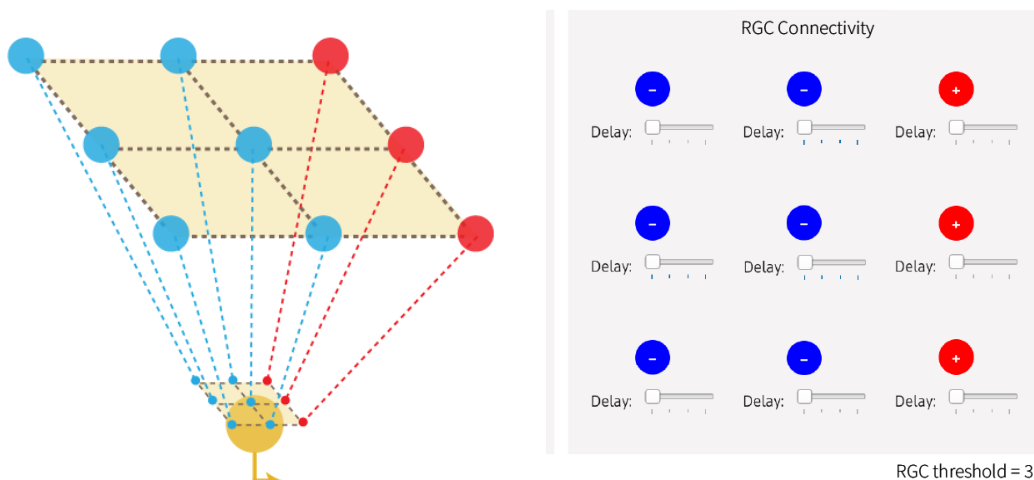
Attività #3: costruire due cellule gangliari che rilevano linee verticali di diverso spessore.

Ingressi alla Cellula Gangliare 1: collega due colonne adiacenti di 3 fotorecettori in una linea verticale (es., colonna centrale + colonna laterale) alla Cellula Gangliare 1, con una polarità positiva (eccitatoria, +). Collega i 3 fotorecettori periferici alla stessa cellula gangliare, con una polarità negativa (inibitoria, -). Imposta la soglia della cellula gangliare a 6, così la cellula gangliare si attivi solo quando tutti e 6 i fotorecettori sono attivati.



Lezione 2, Attività 3: Ingressi e cablaggio a RGC1 (cellula selettiva per orientamento verticale spesso)

Ingressi alla Cellula Gangliare 2: collega una colonna di 3 fotorecettori in una linea verticale (es., colonna destra) alla Cellula Gangliare 2, con una polarità positiva (eccitatoria, +). Collega i 6 fotorecettori periferici alla stessa cellula gangliare, con una polarità negativa (inibitoria, -). Imposta la soglia della cellula gangliare a 3, così la cellula gangliare si attivi solo quando tutti e 3 i fotorecettori sono attivati.



Lezione 2, Attività 3: Ingressi e cablaggio a RGC2 (cellula selettiva per orientamento verticale sottile)

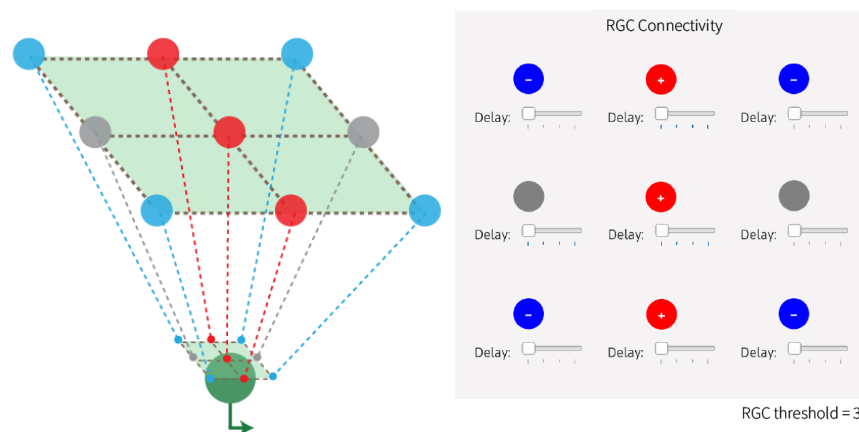
Si prega di notare che quanto sopra rappresenta uno dei diversi possibili esempi di una soluzione corretta. Avresti potuto configurare ciascuna cellula gangliare con un campo recettivo verticale in varie posizioni (cioè, spostato a sinistra o a destra).

Sfida #1: costruire un rilevatore di forme con campi recettivi selettivi per orientamento

Si prega di notare che la soluzione sottostante rappresenta una delle diverse possibili soluzioni corrette. Avresti potuto scegliere qualsiasi forma potenziale combinando due linee rette di qualsiasi orientamento (es., una X, una T o una L - in qualsiasi orientamento). La soluzione sottostante configurerà un rilevatore di forme reattivo a una forma a 'X'.

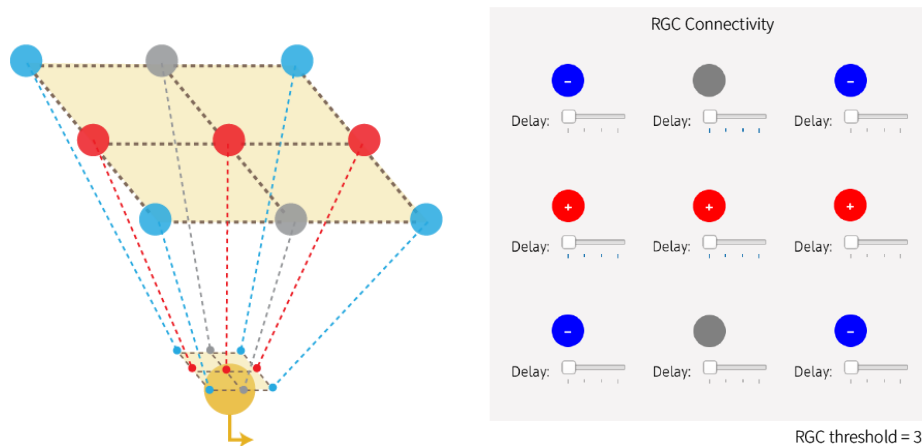
Ciascuna delle cellule gangliari dovrebbe essere reattiva a una linea in una posizione/orientamento diverso. Dovrebbero entrambe attivarsi quando la forma è presentata (cioè, ciascuna cellula gangliare non deve essere silenziata quando l'altra cellula gangliare è attiva).

Ingressi alla Cellula Gangliare 1: Per creare una forma a croce, desideriamo che la Cellula Gangliare 1 sia reattiva a una linea verticale nel mezzo della matrice di fotorecettori. Collega 3 fotorecettori adiacenti (es., una linea verticale) a una cellula gangliare con una polarità positiva (eccitatoria, +), così si attivi solo quando tutti e 3 i fotorecettori sono attivati (cioè, quando è presente una barra verticale di luce al centro della matrice). Le cellule negli angoli della matrice dovrebbero essere inibitorie (-), mentre le due cellule a sinistra e a destra nella riga centrale dovrebbero essere inattivate (grigie). Questo renderà la cellula selettiva per l'orientamento, ma continuerà a rispondere quando la Cellula Gangliare 2 (vedi sotto) è attivata.



Lezione 2, Sfida 1: Ingressi e cablaggio a RGC1 (cellula selettiva per orientamento verticale)

Ingressi alla Cellula Gangliare 2: Per creare una forma a croce, desideriamo che la Cellula Gangliare 2 sia reattiva a una linea orizzontale nel mezzo della matrice di fotorecettori. Collega 3 fotorecettori adiacenti (es., una linea orizzontale) alla seconda cellula gangliare con una polarità positiva (eccitatoria, +), in modo che si attivi solo quando tutti e 3 i fotorecettori sono attivati (cioè, quando è presente una barra orizzontale di luce al centro della matrice). Simile a quanto sopra, aggiungere inibizione alle connessioni dei fotorecettori angolari (polarità negativa, -) mentre si inattivano le cellule superiori e inferiori nella colonna centrale renderà la cellula selettiva per l'orientamento, ma consentirà comunque di rispondere quando RGC1 è attiva.



Lezione 2, Sfida 1: Ingressi e cablaggio a RGC2 (cellula selettiva per orientamento orizzontale)

Soluzioni Lezione 3: Selettività Direzionale

Nota: A seconda dei ritardi temporali che hai assegnato a ciascun fotorecettore, potrebbe essere necessario testare diverse velocità di stimolo per osservare l'attivazione della cellula gangliare specificamente in una direzione. Il circuito funzionerà in modo più efficace quando la velocità del movimento è adattata alla tempistica dei ritardi, permettendo a tutti gli input della direzione preferita di sommarsi simultaneamente nella cellula gangliare durante il movimento nella direzione preferita e consentendo all'inibizione nella direzione nulla di annullare efficacemente l'eccitazione durante il movimento nella direzione nulla.

Attività #1: costruire una cellula gangliare con selettività direzionale verso sinistra



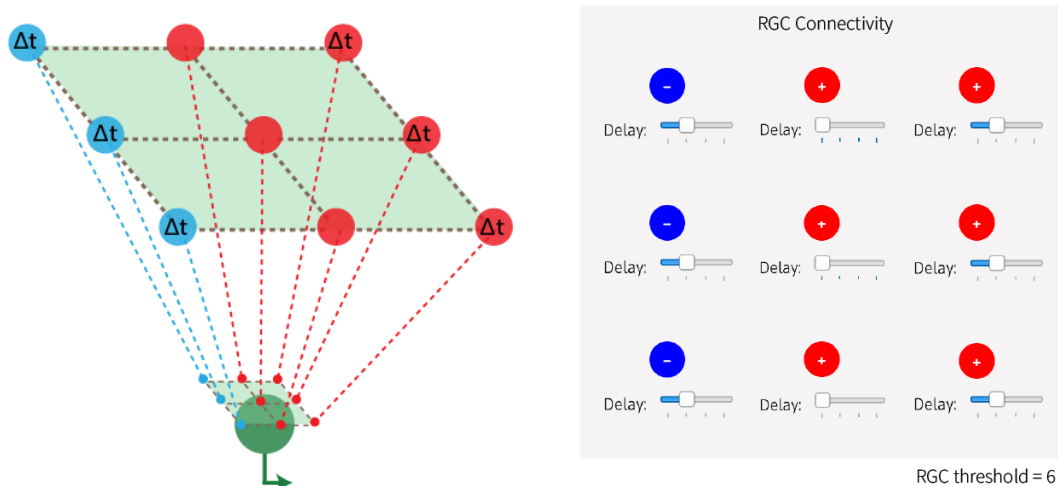
La cellula gangliare riceve input da due colonne complete di fotorecettori eccitatori (polarità positiva) e una colonna completa di fotorecettori inibitori (polarità negativa).

- Colonna di fotorecettori più a sinistra (inibitoria, -): ritardo temporale breve/medio
- Colonna di fotorecettori centrale (eccitatoria, +): nessun ritardo temporale
- Colonna di fotorecettori più a destra (eccitatoria, +): ritardo temporale breve/medio

Imposta la soglia della cellula gangliare a 6. Questo assicura che la cellula si attivi solo quando entrambe le colonne di fotorecettori eccitatori (6 fotorecettori in totale) sono attivate in sincronia, cioè, quando la direzione del movimento è verso sinistra e la tempistica si allinea perfettamente per la sommazione degli input.

Questa configurazione fa sì che la cellula gangliare si attivi solo quando uno stimolo si muove verso sinistra attraverso la matrice. Lo stimolo attiva sequenzialmente i fotorecettori delle colonne più a destra, quella centrale e infine quella a sinistra. I ritardi sono configurati in modo che i segnali provenienti dalle due colonne eccitatorie arrivino alla cellula gangliare simultaneamente solo durante il movimento verso sinistra, consentendo alla cellula di raggiungere la soglia e attivarsi. L'input della colonna inibitoria, essendo ritardato, arriva troppo tardi per interferire con la risposta.

della cellula gangliare. Se lo stimolo si muove verso destra (cioè nella direzione opposta a quella preferita dalla cellula gangliare), la colonna inibitoria si sommerà con la colonna eccitatoria, annullando l'eccitazione e impedendo alla cellula gangliare di attivarsi. Inoltre, le due colonne di input eccitatori saranno attivate in controfase l'una rispetto all'altra durante il movimento verso destra. *Notare che se si stimolano semplicemente i 6 fotorecettori positivamente connessi (senza stimolare i 3 fotorecettori negativamente connessi) con uno stimolo statico, la cellula gangliare si attiverà eventualmente (simile a quanto accade per molte cellule gangliari selettive per la direzione nel cervello che possono talvolta essere attivate sia da stimoli in movimento nella direzione preferita che da stimoli statici).



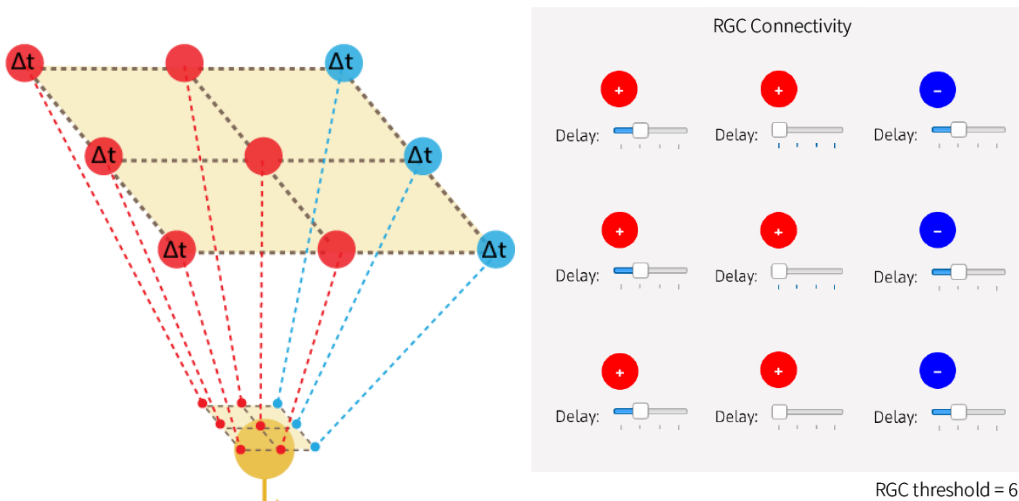
Lezione 3, Attività 1: Input e cablaggio a RGC1 (cellula con selettività direzionale verso sinistra)

Attività #2: costruire una cellula gangliare con selettività direzionale verso destra →

La cellula gangliare riceve input da due colonne complete di fotorecettori eccitatori (polarità positiva) e una colonna completa di fotorecettori inibitori (polarità negativa).

- Colonna di fotorecettori più a sinistra (eccitatoria, +): ritardo di breve/media durata
- Colonna di fotorecettori centrale (eccitatoria, +): nessun ritardo temporale
- Colonna di fotorecettori più a destra (inibitoria, -): ritardo di breve/media durata

Impostare la soglia della cellula gangliare a 6. Questo assicura che la cellula si attivi solo quando entrambe le colonne di fotorecettori eccitatori (6 fotorecettori in totale) sono attivate in sincronia, cioè quando la direzione del movimento è verso destra e la tempistica si allinea perfettamente per la sommazione degli input. Si prega di fare riferimento alla Soluzione Attività #1 per una spiegazione dettagliata della sommazione degli input allineati nel tempo.



Lezione 3, Attività 2: Input e cablaggio a RGC2 (cellula con selettività direzionale verso destra)

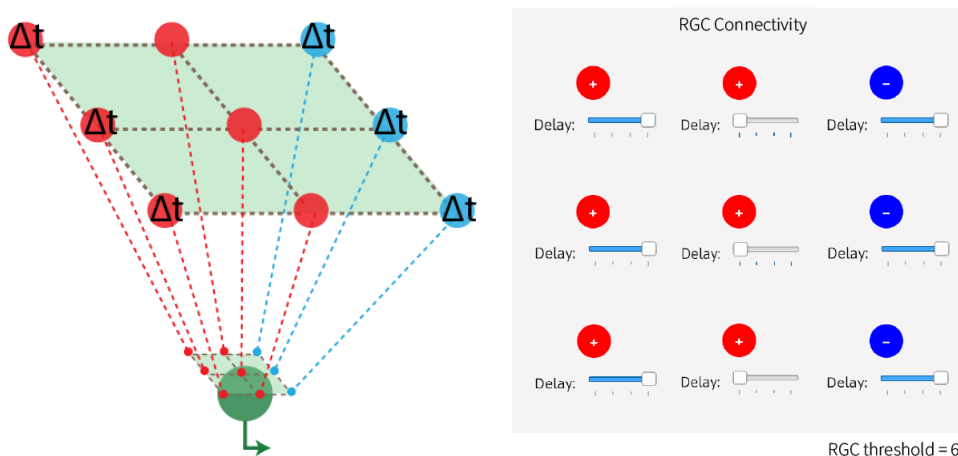
Attività #3: costruire una cellula gangliare con selettività direzionale per i movimenti lenti e un'altra con preferenza per i movimenti veloci →

Per risolvere questo problema è fondamentale considerare l'entità dei ritardi temporali imposti sui circuiti visti nell'Attività #1 (cellula con selettività direzionale verso destra).

Ogni cellula gangliare riceve input da due colonne complete di fotorecettori eccitatori (polarità positiva) e una colonna completa di fotorecettori inibitori (polarità negativa). Impostare la soglia di ciascuna cellula gangliare a 6. Questo assicura che la cellula si attivi solo quando entrambe le colonne di fotorecettori eccitatori (6 fotorecettori in totale) sono attivate in sincronia.

Ingressi per RGC1 (cellula con selettività direzionale → per il movimento lento):

- Colonna di fotorecettori più a sinistra (eccitatoria, +): ritardo di lunga durata
- Colonna di fotorecettori centrale (eccitatoria, +): nessun ritardo temporale
- Colonna di fotorecettori più a destra (inibitoria, -): ritardo di lunga durata

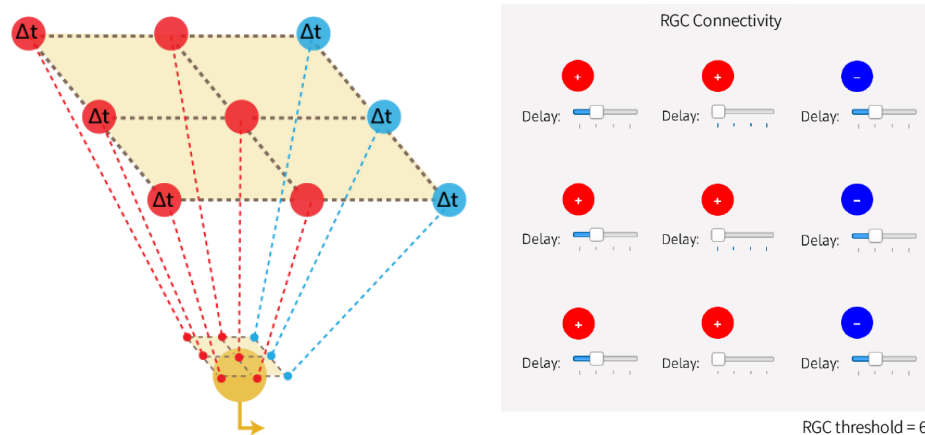


Lezione 3, Attività 3: Input e cablaggio a RGC1 (cellula con selettività direzionale per il movimento lento verso destra)

Ingressi per RGC2 (cellula con selettività direzionale → per il movimento veloce):

- Colonna di fotorecettori più a sinistra (eccitatoria, +): ritardo di breve durata
- Colonna di fotorecettori centrale (eccitatoria, +): nessun ritardo temporale
- Colonna di fotorecettori più a destra (inibitoria, -): ritardo di breve durata

Un ritardo di tempo più breve crea una finestra temporale più piccola per la sommazione degli input; quindi, lo stimolo deve muoversi più velocemente per attivare la cellula gangliare. Al contrario, un ritardo di tempo più lungo crea una finestra di sommazione più ampia, consentendo alla cellula di rispondere a movimenti più lenti. Si prega di fare riferimento alla *Soluzione Attività #1* per una spiegazione dettagliata della sommazione degli input allineati nel tempo.

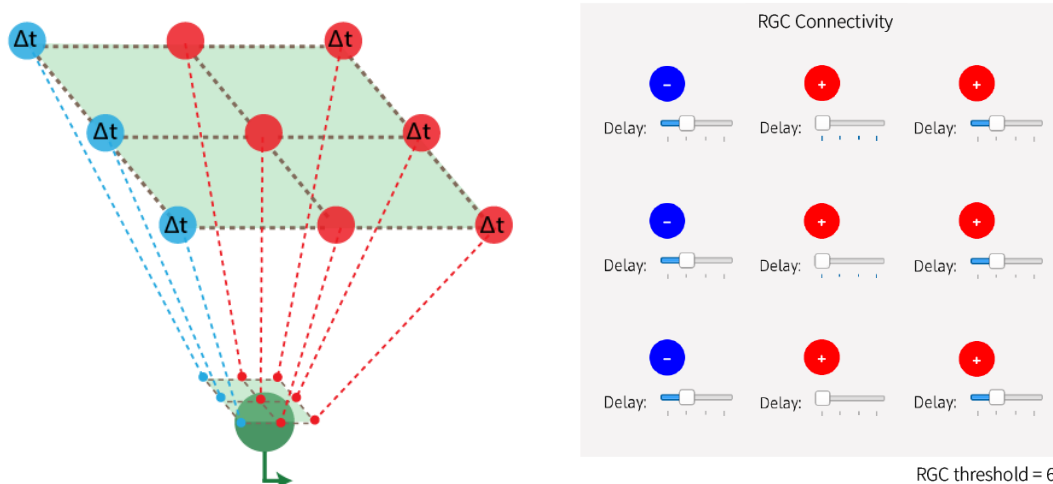


Lezione 3, Attività 3: Input e cablaggio a RGC2 (cellula con selettività direzionale per il movimento veloce verso destra)

Sfida: Gioco ‘distruzione dei blocchi’ con circuiti a selettività direzionale

Input a RGC1 ←: la cellula gangliare riceve input da due colonne complete di fotorecettori eccitatori (polarità positiva) e una colonna completa di fotorecettori inibitori (polarità negativa). Impostare la soglia della cellula gangliare a 6.

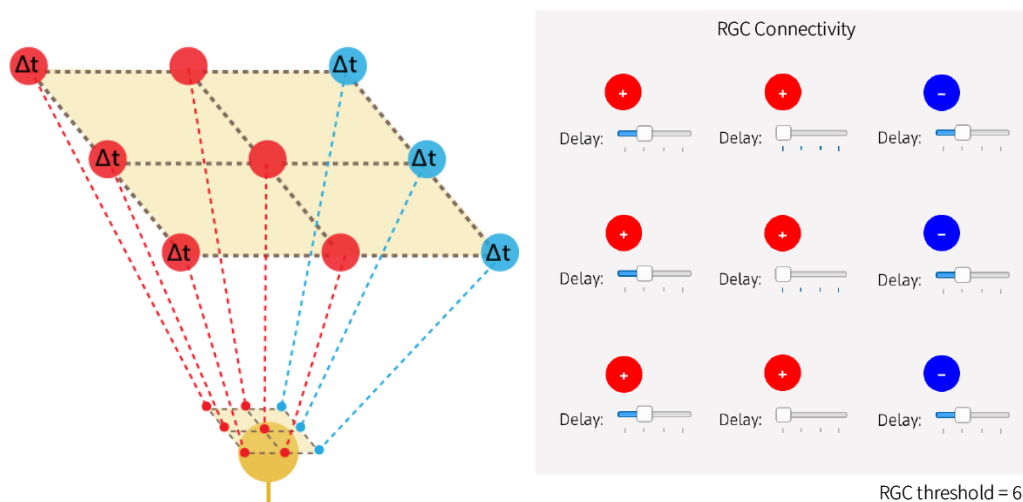
- Colonna di fotorecettori più a sinistra (inibitoria, -): ritardo di breve durata
- Colonna di fotorecettori centrale (eccitatoria, +): nessun ritardo temporale
- Colonna di fotorecettori più a destra (eccitatoria, +): ritardo di breve durata



Lezione 3, Sfida 1: Input e cablaggio a RGC1 (cellula con selettività direzionale per il movimento verso sinistra)

Input a RGC2 → : la cellula gangliare riceve input da due colonne complete di fotorecettori eccitatori (polarità positiva) e una colonna completa di fotorecettori inibitori (polarità negativa). Impostare la soglia della cellula gangliare a 6.

- Colonna di fotorecettori più a sinistra (eccitatoria, +): ritardo di breve durata
- Colonna di fotorecettori centrale (eccitatoria, +): nessun ritardo temporale
- Colonna di fotorecettori più a destra (inibitoria, -): ritardo di breve durata



Lezione 3, Attività 4: Input e cablaggio a RGC2c (cellula con selettività direzionale per il movimento verso destra)

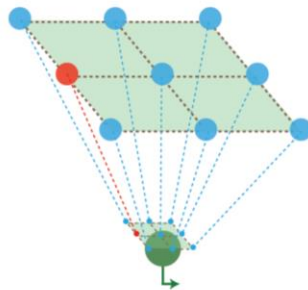
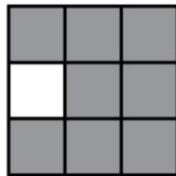
Modalità di scoperta (“*Discovery Mode*”)

Facile

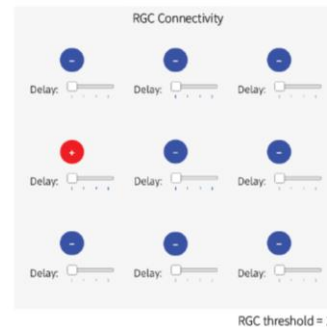
Facile 1: Cellula centro-periferia

- Stimolo preferito: punto di luce statico sul bordo sinistro del campo recettivo
- Soglia minima per la cellula gangliare: 1

Preferred stimulus



Circuit

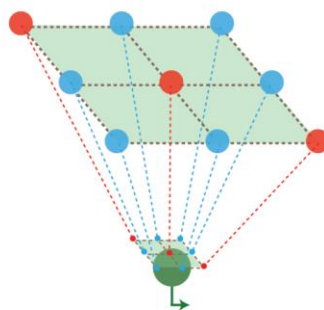
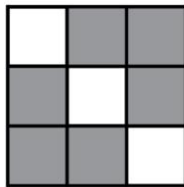


Lezione 4, Facile 1: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

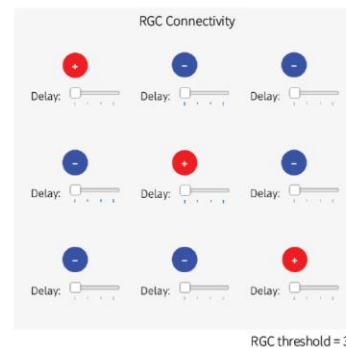
Facile 2: Cellula selettiva per orientamento

- Stimolo preferito: linea diagonale statica (135°) al centro del campo recettivo
- Soglia per la cellula gangliare: 3

Preferred stimulus



Circuit

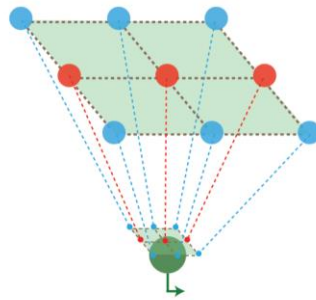
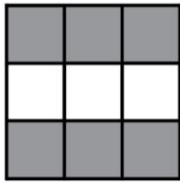


Lezione 4, Facile 2: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

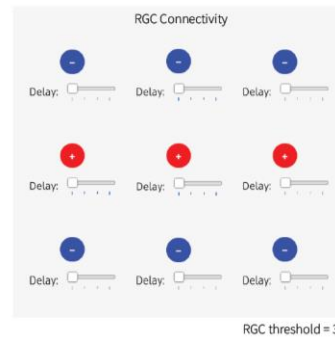
Facile 3: Cellula selettiva per orientamento

- Stimolo preferito: linea orizzontale statica al centro del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 3

Preferred stimulus



Circuit

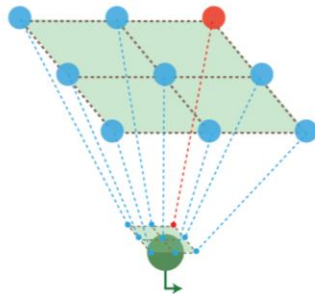
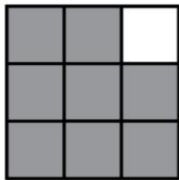


Lezione 4, Facile 3: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

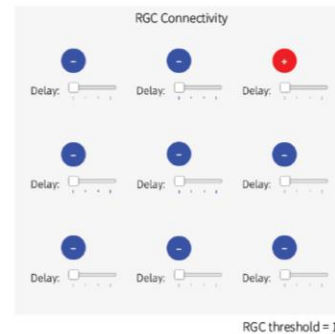
Facile 4: Cellula centro-periferia

- Stimolo preferito: punto luminoso statico in alto a destra del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 1

Preferred stimulus



Circuit

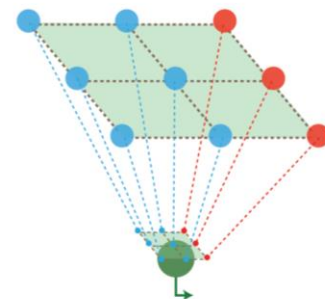


Lezione 4, Facile 4: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

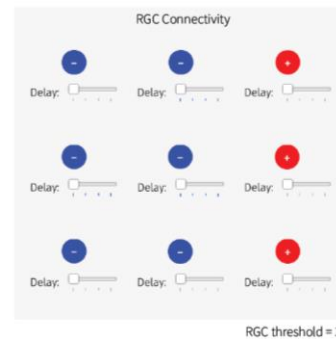
Facile 5: Cellula selettiva per orientamento

- Stimolo preferito: linea verticale statica sul bordo destro del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 3

Preferred stimulus



Circuit

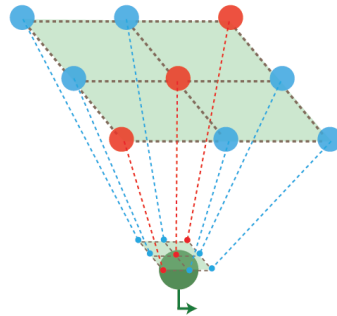
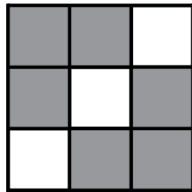


Lezione 4, Facile 5: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

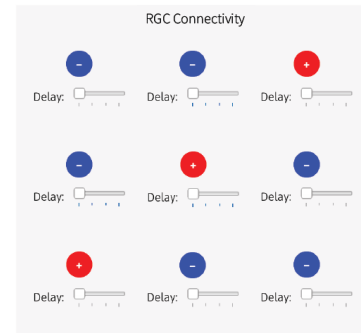
Facile 6: Cellula selettiva per orientamento

- Stimolo preferito: linea diagonale statica (45°) al centro del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 3

Preferred stimulus



Circuit



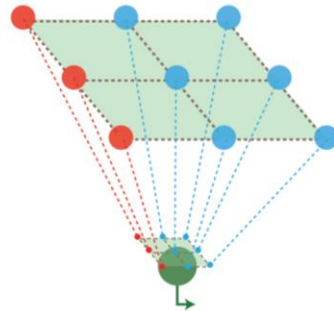
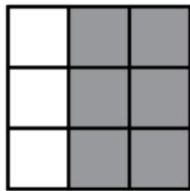
RGC threshold = 3

Lezione 4, Facile 6: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

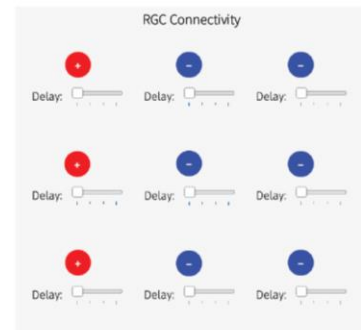
Facile 7: Cellula selettiva per orientamento

- Stimolo preferito: linea verticale statica sul bordo sinistro del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 3

Preferred stimulus



Circuit



RGC threshold = 3

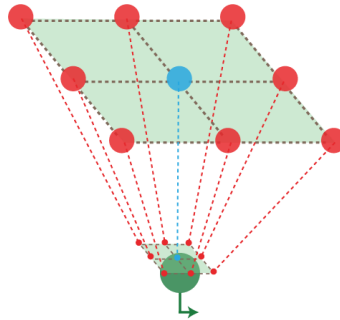
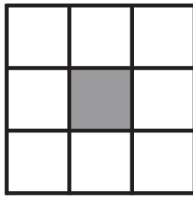
Lezione 4, Facile 7: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

Moderato

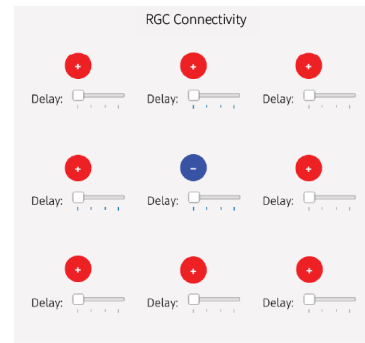
Moderato 1: Cellula selettiva per forma (anello)

- Stimolo preferito: anello di luce (assenza di luce nel centro del campo recettivo)
- Soglia per la cellula gangliare: 8

Preferred stimulus



Circuit



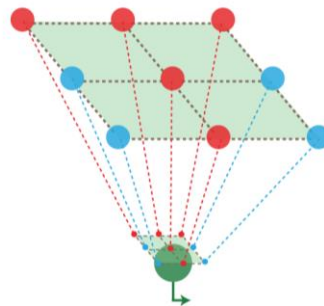
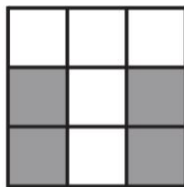
RGC threshold = 8

Lezione 4, Moderato 1: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

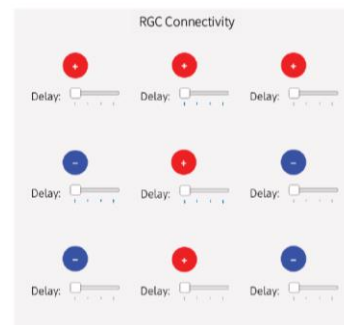
Medium 2: Cellula selettiva per forma (T)

- Stimolo preferito: forma a T
- Soglia per la cellula gangliare: 5

Preferred stimulus



Circuit



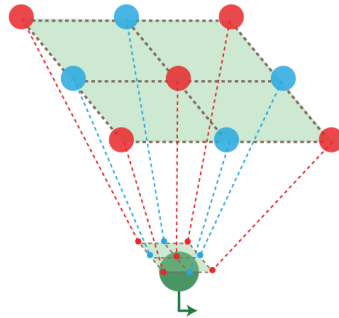
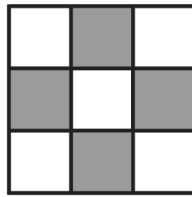
RGC threshold = 5

Lezione 4, Moderato 2: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

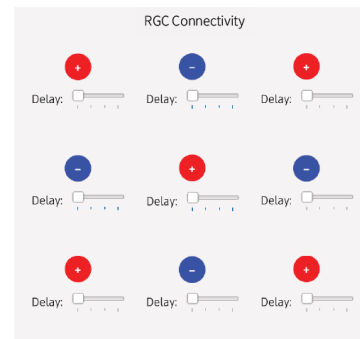
Medium 3: Cellula selettiva per forma (X)

- Stimolo preferito: forma a X al centro del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 5

Preferred stimulus



Circuit



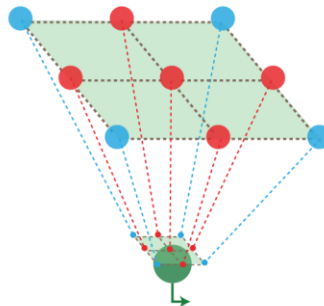
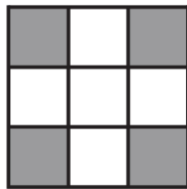
RGC threshold = 5

Lezione 4, Moderato 3: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

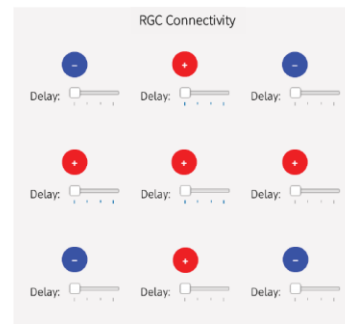
Medium 4: Cellula selettiva per forma (+)

- Stimolo preferito: forma + (o un punto luminoso di dimensioni medie) al centro del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 5

Preferred stimulus



Circuit



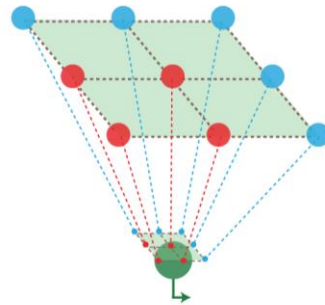
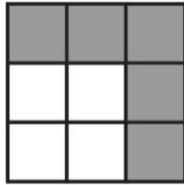
RGC threshold = 5

Lezione 4, Moderato 4: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

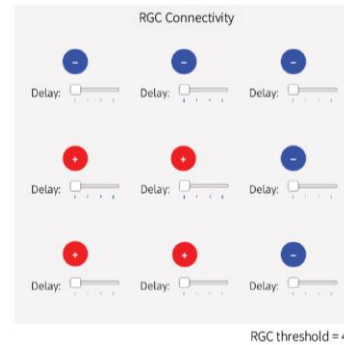
Medium 5: Cellula centro-periferia

- Stimolo preferito: Punto luminoso di dimensioni medie con un campo recettivo in basso a sinistra.
- Soglia per la cellula gangliare: 4

Preferred stimulus



Circuit

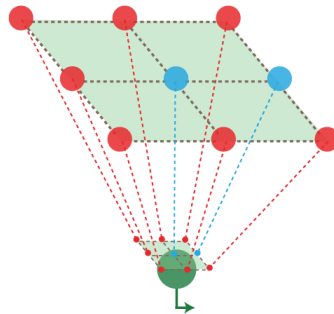
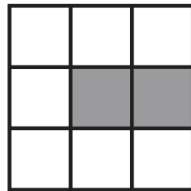


Lezione 4, Moderato 5: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

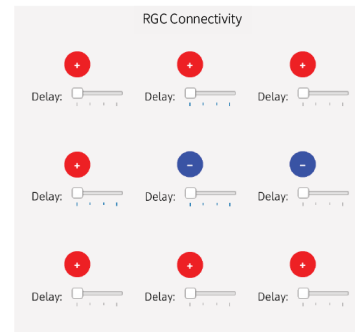
Medium 6: Cellula selettiva per forma (C)

- Stimolo preferito: forma a C
- Soglia per la cellula gangliare: 7

Preferred stimulus



Circuit



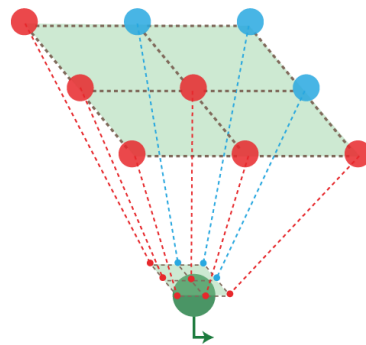
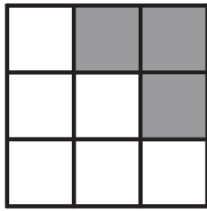
Lezione 4, Moderato 6: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

Difficile

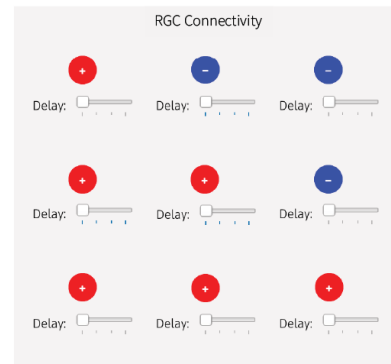
Difficile 1: Cellula selettiva per forma (triangolo)

- Stimolo preferito: angolo retto in basso a sinistra del campo recettivo.
- Soglia per la cellula gangliare: 6

Preferred stimulus



Circuit



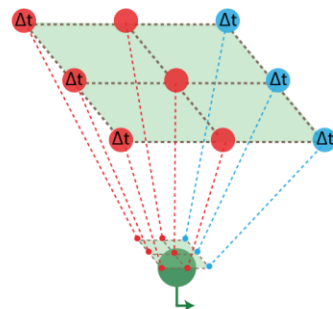
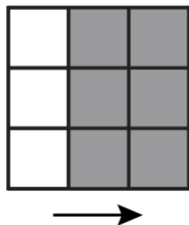
RGC threshold = 6

Lezione 4, Difficile 1: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al circuito misterioso

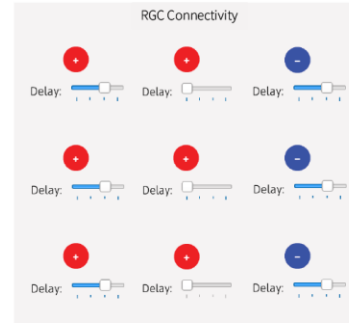
Difficile 2: Cellula con selettività direzionale

- Stimolo preferito: barra di luce verticale in movimento verso destra.
- I fotorecettori nelle colonne sinistra e destra devono essere configurati con ritardi temporali medi (si prega di consultare la *Soluzione della Lezione 3, Attività #1* per una spiegazione dettagliata della sommazione degli input allineati nel tempo).
- Soglia per la cellula gangliare: 6

Preferred stimulus



Circuit



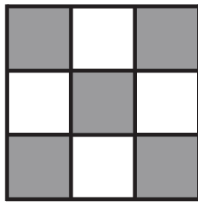
RGC threshold = 6

*Lezione 4, Difficile 2: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) per il circuito misterioso. *Nota: Nelle sfide direzionali in "Discovery Mode", accettiamo qualsiasi ritardo temporale ("Delay") come corretto, perché la selettività alla velocità delle cellule direzionali di RetINaBox è ampia.*

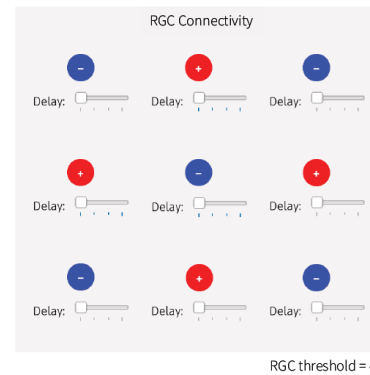
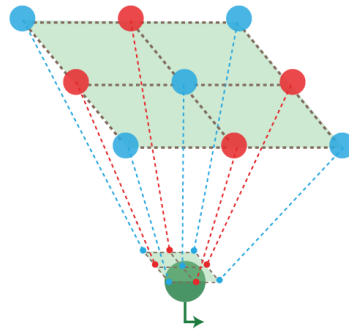
Difficile 3: Cellula selettiva per forma (diamante)

- Stimolo preferito: anello di luce di dimensioni medie / diamante (esclude il centro)
- Soglia per la cellula gangliare: 4

Preferred stimulus



Circuit

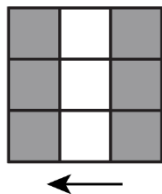


Lezione 4, Difficile 3: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) per il circuito misterioso.

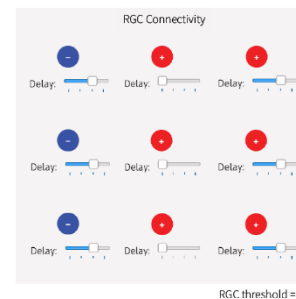
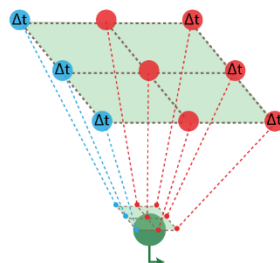
Difficile 4: Cellula con selettività direzionale

- Stimolo preferito: barra di luce verticale in movimento verso sinistra.
- I fotorecettori nelle colonne sinistra e destra devono essere configurati con ritardi temporali medi (si prega di consultare la *Soluzione della Lezione 3, Attività #1* per una spiegazione dettagliata della sommazione degli input allineati nel tempo).
- Soglia per la cellula gangliare: 3

Preferred stimulus



Circuit



Lezione 4, Difficile 4: Stimolo preferito (sinistra) e cablaggio (destra) al Circuito Misterioso.
**Nota: Nelle sfide direzionali in "Discovery Mode", accettiamo qualsiasi ritardo temporale ("Delay") come corretto, perché la selettività alla velocità delle cellule direzionali di RetINaBox è ampia.*