

Contributi all'etologia dell'ape in serra

2.

Ricerche sulla percezione visiva di *Apis mellifera* L.  
(Hymenoptera Apidae) in rapporto all'interazione  
tra forma e colore degli zimbelli

PREMESSA

Come abbiamo già spiegato nel primo lavoro (Celli, 1985) di questa serie di studi sull'etologia dell'ape in ambiente confinato, lo scopo ultimo sarebbe quello di pervenire all'elaborazione di una serie di segnali visivi atti ad orientare l'ape nei meandri delle colture protette, favorendo l'individuazione degli accessi e delle uscite. Si tratterebbe quindi di montare una vera e propria segnaletica stradale per api, un'idea maturata alla luce delle ricerche sperimentali che si svolgono ormai da più di mezzo secolo e che hanno accertato, nel nostro imenottero, notevoli capacità di riconoscimento e preferenze per certe forme e per certi colori. Malgrado la notevole massa di informazioni raccolta, a cominciare dalle classiche ricerche della Hertz (1933, 1934, 1937, 1939) per finire con quelle più recenti di Ronacher (1979, 1980, 1983) ci sembra che alcuni aspetti della percezione visiva dell'ape necessitino di un riesame sperimentale, mentre altre circostanze debbano essere affrontate ex-novo. Il nostro progetto di indagine prevede così di ripartire quasi da zero, rivisitando alcuni dei nessi più importanti della percezione delle forme e dei colori e sconfinando anche in un ambito abbastanza nuovo, ma ricco di suggestioni e di riferimenti, e di cui parleremo in un prossimo futuro. Si tratta delle illusioni ottiche. Si sa difatti che, mentre i fenomeni anormali vengono di solito affrontati a partire da quelli normali, si può proporre una strategia inversa, quella di interpretare i fenomeni normali partendo dagli anormali e usando così la percezione illusoria per comprendere meglio la percezione canonica.

#### INTRODUZIONE E SCOPI DELLA RICERCA

Come in tutti gli insetti anche nell'ape gli organi preposti alla visione sono gli occhi composti. Questo tipo di occhio è così chiamato perché è formato da un numero variabile di occhi semplici detti ommatidi, racchiusi dalla capsula oculare. In *Apis mellifera* L. il numero degli ommatidi è soggetto a variabilità geografica e ricerche svolte in Unione Sovietica (Melnichenko, 1963) mostrano che le api delle regioni nordiche hanno parecchie centinaia di ommatidi in più di quelle che vivono in regioni più meridionali. Il numero degli ommatidi in *A. mellifera* si aggira comunque intorno a 4.000-5.000 per le api operaie, 3.000-4.000 per le api regine e 7.000-8.000 per i fuchi. Dando per nota l'anatomia generale dell'ommatidio ci limitiamo a dire qualcosa sui pigmenti ottici. In *A. mellifera*, Goldsmith (1958) ha isolato il retinale che, legato all'opsina, forma un pigmento foto-sensibile con lunghezza d'onda massima pari a 450 nm. Anche se queste sono praticamente le uniche informazioni biochimiche disponibili sui pigmenti visivi, le ricerche comportamentali sull'addestramento delle api a riconoscere carte di diverso colore fanno pensare alla presenza di altri 3 pigmenti che giustifichino la loro capacità di discriminare il giallo, il blu e l'ultravioletto. Esperimenti sul comportamento dell'ape tesi ad indagarne la percezione visiva, sono stati eseguiti da von Frisch (1914, 1980). Dapprima von Frisch addestrò le api a prendere del cibo posto su carta blu, in seguito affiancò a questo un pezzo di carta rossa e osservò che le api visitavano esclusivamente la carta blu, mostrando quindi di distinguerla dalla rossa. Per escludere che le api percepissero queste due tinte come sfumature diverse di grigio le collocò in mezzo alla serie di Hering che comprende 30 carte di diverse sfumature di grigio. Con questi esperimenti von Frisch dimostrò che le api vedono il blu e il giallo e che invece il rosso è percepito come nero. Esperimenti eseguiti da Khun (1927) con luce monocromatica, hanno messo in evidenza una regione dello spettro, corrispondente al blu-verde, che è percepita dall'occhio dell'ape come un colore distinto sia dal giallo che dal blu. Kuhn osservò anche che le api percepiscono l'ultravioletto. A partire da queste esperienze Hertz (1937a) propose alle api una serie di carte bianche e notò che con certi tipi di carta le api potevano essere addestrate a visitare esclusivamente questi campioni, mentre con altri tipi le api continuavano a distribuirsi casualmente. L'analisi spettrale mostrò che le carte bianche su cui si riuscivano a condizionare le api riflettevano interamente lo spettro visibile all'occhio umano, ma non riflettevano l'ultravioletto. Per questo motivo quelle carte apparivano all'ape di un colore complementare alla lunghezza d'onda assorbita, cioè l'ultravioletto. Per dimostrare che il colore complementare all'ultravioletto è il blu-



verde prese, nella serie standardizzata di Ostwald, le carte che si allineano tra il blu e il verde. Vide che su alcune di queste carte le api non si riuscivano a condizionare e pensò che fossero bianche anche per questi insetti. Hertz allora sovrappose alle carte in questione un filtro assorbente l'ultravioletto e da questo momento non ebbe più alcuna difficoltà a condizionare le api. A questo punto affiancò a questa carta, coperta dal filtro, la carta bianca riflettente poco ultravioletto. In questo caso le api visitavano le due carte con la stessa premura, dimostrando, appunto, che queste carte evocavano una medesima sensazione visiva. Esperimenti successivi (Daumer, 1956) hanno messo in evidenza all'interno dello spettro dell'ape cinque regioni: una a lunghezza d'onda pari a 650-500 nm corrispondente al giallo, una a lunghezza d'onda pari a 500-480 nm corrispondente al blu-verde, una a lunghezza d'onda pari a 480-440 nm corrispondente al blu, una a lunghezza d'onda pari a 440-360 nm corrispondente al violetto, una a lunghezza d'onda pari a 360-300 nm corrispondente all'ultravioletto. Mescolando i colori che si trovano all'estremità dello spettro si ottiene un nuovo colore che, analogamente a quanto succede nell'occhio umano, è detto porpora, nel nostro caso dell'ape. Contemporaneamente a questa serie di ricerche sulla percezione dei colori in *A. mellifera* sono stati eseguiti esperimenti per valutare la percezione delle forme da parte di questi insetti. Zerran (1933, 1934) stimò l'attività di figure geometriche diverse basandosi sul numero di volte in cui le api si posavano su una determinata figura. In questo modo dimostrò che le forme che esercitano maggiore attrazione sono quelle più scomposte rispetto a quelle a contorno più regolare. Una serie di esperimenti eseguiti da Hertz (1934) ha dimostrato che le api sono in grado di distinguere stelle a otto punte da stelle a sedici punte, ma non sono in grado di distinguere un quadrato da figure semplici come un cerchio o un triangolo. A partire da questa esperienza a noi è parso interessante cercare di valutare se, nel guidare il comportamento di un'ape, prevale il segnale visivo di forma o quello di colore, anche perché dal punto di vista storico le esperienze sulle preferenze di colore o di forma sono state sempre condotte separatamente. Abbiamo deciso, così, di approfondire le ricerche adottando l'approccio sperimentale degli autori precedenti, ma mettendo a confronto diretto i due tipi di segnali visivi. Abbiamo pensato cioè, di porre l'insetto in una situazione conflittuale, scegliendo dei colori che risultassero attrattivi ed associandoli ad una figura geometrica invece poco attraente come il quadrato. Accanto ai quadrati, su sfondo bianco, abbiamo messo delle figure geometriche come le stelle a più punte, ben note, per il loro alto indice di frastagliamento e, probabilmente, per la loro analogia con certi fiori, per essere fortemente attrattive per le api, e le abbiamo combinate con un colore ad effetto quasi neutro come il bianco. In base

al numero di scelte compiute dall'insetto sul colore favorito o sulla forma più gradita abbiamo valutato l'importanza di questi due segnali visivi nel regolare il comportamento dell'ape messa di fronte ad un conflitto preferenziale.

### MATERIALI E METODI

Uno dei problemi più importanti da risolvere, quando si vuole intraprendere una ricerca sperimentale sulla visione del colore, è la scelta

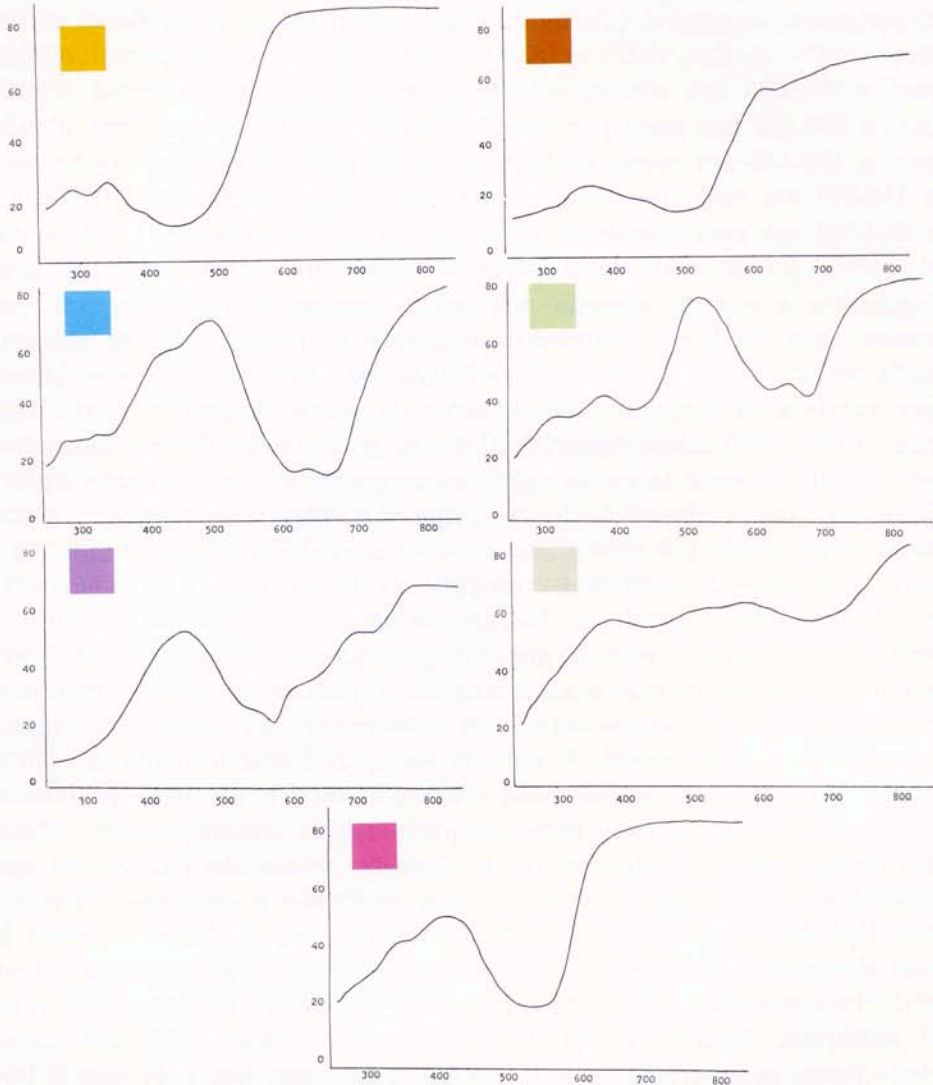


FIG. I

Analisi spettrale dei cartoncini colorati impiegati nell'esperienza. In ascissa la lunghezza d'onda espressa in nm, in ordinata la percentuale di trasmittanza.



del materiale colorato con cui eseguire il test. Proprio perché è impossibile definire un colore solo sulla base della nostra esperienza sensoriale era importante poter lavorare con un materiale che fosse, oggettivamente, di un determinato colore. Per questo motivo abbiamo scelto del comune cartoncino colorato e ne abbiamo fatto eseguire un'analisi spettrale <sup>(1)</sup> (Vedi fig. 1). Questi cartoncini sono stati ritagliati in forma di quadrati di 2 centimetri di lato. Su fogli di carta bianca di dimensioni pari a 22 cm per 30 cm abbiamo disegnato delle stelle con molte punte che potevano essere inscritte in cerchi di 2,5 cm di diame-

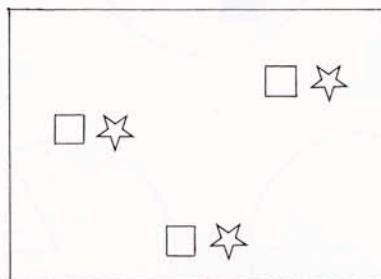


FIG. II

Disposizione dei quadrati e delle stelle nel foglio esposto alle api durante l'esperienza.

tro e accanto a queste abbiamo attaccato, di volta in volta i vari colori sotto forma di quadrati di 2 cm di lato. La disposizione relativa di quadrati e stelle nei vari fogli può essere osservata nella figura 2. Su ciascuna figura è stata posta una lente a contatto contenente soluzione zuccherina che serviva da esca. Il foglio con le figure è stato posato su un tavolo a circa 10 m dall'alveare, in una zona soleggiata. Per valutare le preferenze delle api abbiamo contato il numero di volte che questi insetti sceglievano il cibo posto nella coppella sopra la stella bianca rispetto al numero di volte che sceglievano la coppella posta sul quadrato colorato. Oltre a questo abbiamo cronometrato il tempo che una singola ape impiegava, sorvolando il foglio bianco, prima di fermarsi su una singola coppella.

### RISULTATI

Le osservazioni sono state effettuate in un arco di tempo compreso tra la fine di giugno 1985 e la fine di agosto dello stesso anno per un

---

(1) Un particolare ringraziamento va al dott. Alessandro Geri dell'Istituto di Fotochimica e Radiazioni di Alta Energia del C.N.R. che ha gentilmente eseguito le suddette analisi.

numero di giorni pari a 45. Per quel che concerne il numero di scelte (vedi fig. 3) si è così accertato che esistono due colori particolarmente attrattivi per l'ape: il lilla e il giallo. Questi colori esercitano

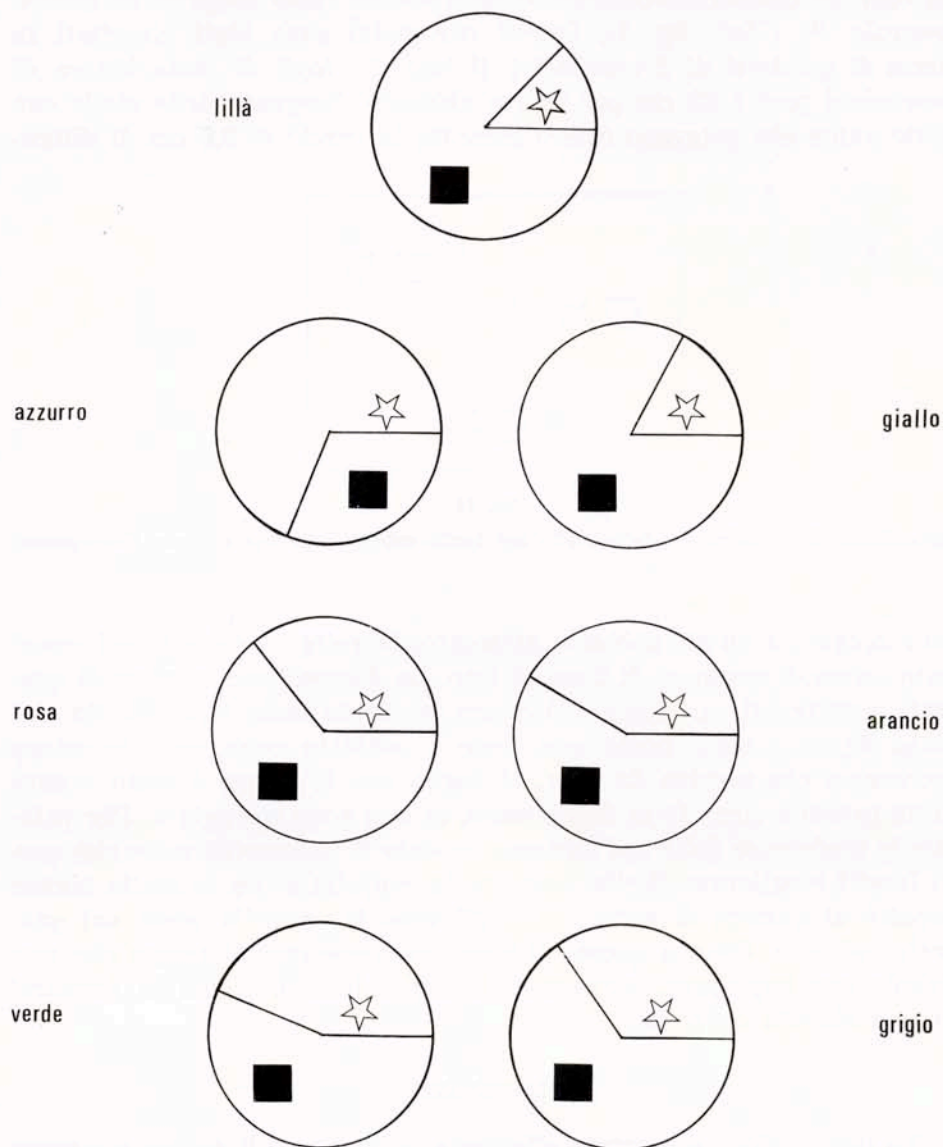


FIG. III

Rappresentazione grafica in diagrammi angolari della percentuale di visite delle api in rapporto al quadrato colorato posto a confronto con una stella a otto punte (nella figura a cinque punte per necessità grafiche). Per i colori dei quadrati fare riferimento alla fig. 1.

un'influenza decisiva sul comportamento dell'ape posta di fronte ad una scelta, prevalendo, come segnale visivo, su quello di forma. Una situazione analoga si presenta quando l'ape è posta di fronte alla scelta

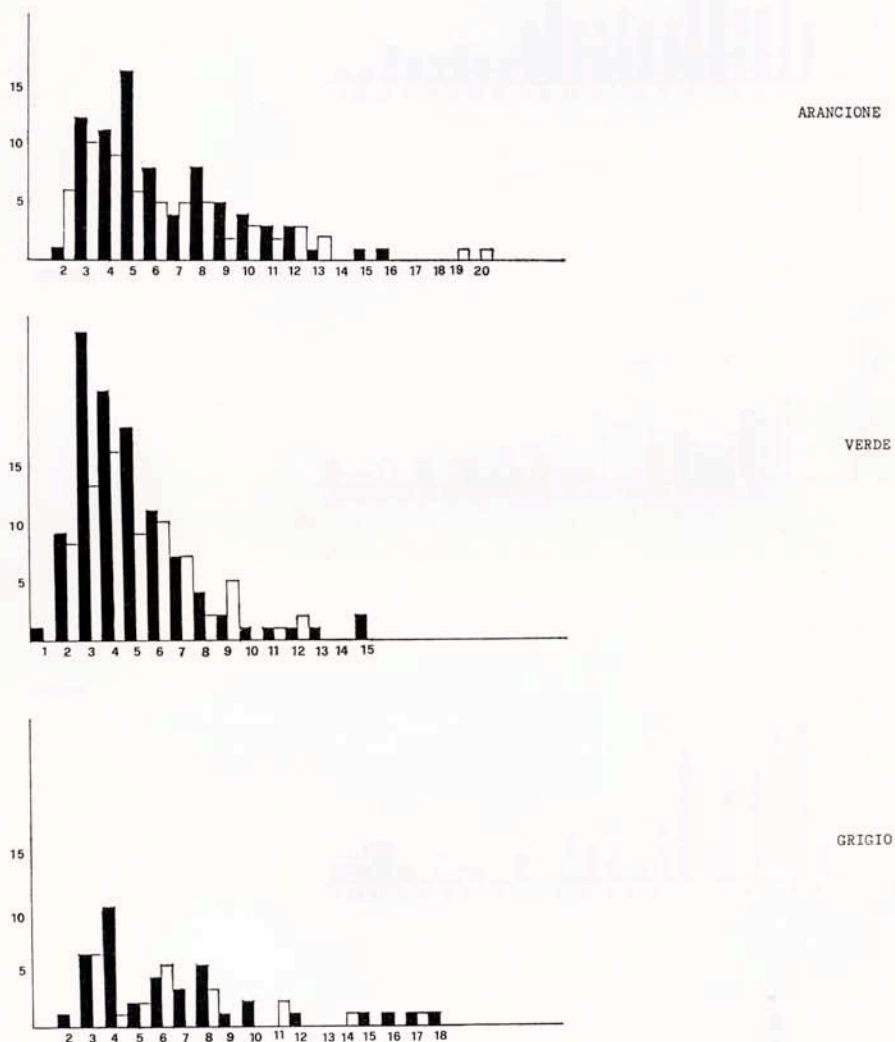


FIG. IV

Rappresentazione grafica in istogrammi dei tempi di sorvolo dell'ape in rapporto alle figure succitate. In ascissa il tempo di sorvolo, in ordinata il numero di visite per classe di frequenza (di ampiezza pari a un sec.).

tra un colore come l'azzurro e una forma come la stella, ma in questo caso, decisamente, il segnale visivo che prevale, ad indirizzare il comportamento dell'ape in cerca di cibo, sembra quello di forma. Mentre

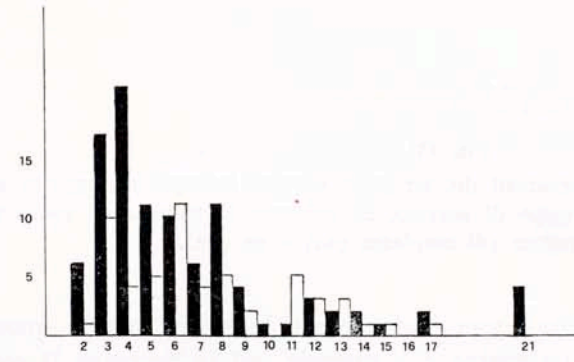
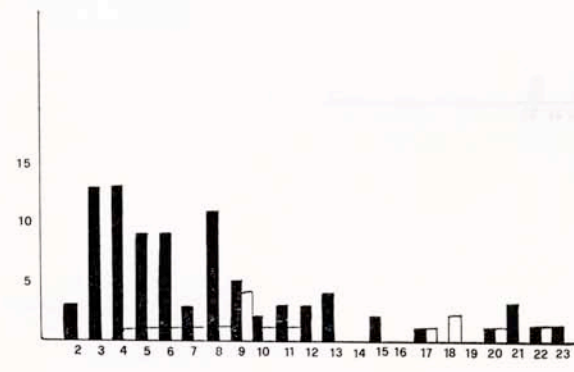
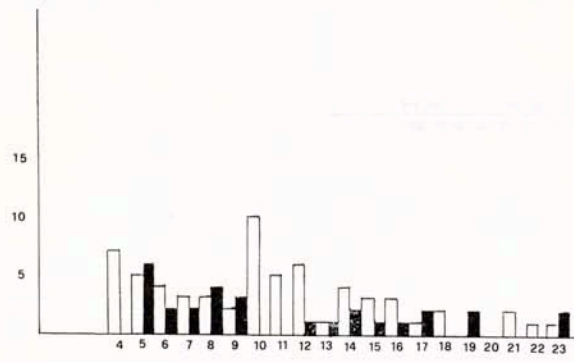
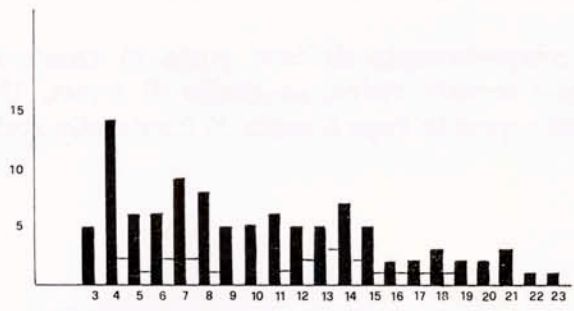


FIG. V  
Idem figura 4.



prima il colore giallo e quello lilla erano riconosciuti come sicuri avvertimenti della presenza di cibo, ora è la forma a stella ad esercitare questo ruolo. Una possibile chiave di lettura per interpretare la situazione che si è verificata nel confronto tra stelle e quadrati azzurri è quella proposta da Menzel ed Erber (1978). Secondo questi Autori il blu-verde è il colore di fondo dell'ambiente in cui operano le api e non ci si attende di trovarlo come segnale di cibo. Osservando il grafico che mostra l'analisi spettrale del cartoncino azzurro, possiamo vedere, in corrispondenza della lunghezza d'onda di 450-500 nm, cioè in corrispondenza del blu-verde, una trasmittanza del 70% circa, a confermare che questo cartoncino appare blu-verde alle api. Per le api il colore blu-verde è, quindi, il colore di fondo dell'ambiente circostante e non riescono ad associarlo alla presenza di cibo e, per questo, cercano la soluzione zuccherina quasi esclusivamente sulla stella bianca. Con gli altri colori previsti nell'esperienza si è verificata una situazione intermedia in cui non si aveva una netta differenza nella scelta tra la forma preferita e il colore. Il referto viene confermato dalla analisi degli istogrammi (vedi figg. 4 e 5), che mettono in relazione i tempi di sorvolo su entrambe le figure. Mentre con i colori lilla e giallo si osserva che il tempo medio di sorvolo sul quadrato è nettamente inferiore a quello su stella, con tutti gli altri colori i tempi medi di sorvolo sulle due figure risultano non molto diversi.

#### CONCLUSIONI

Come abbiamo detto nell'introduzione l'ipotesi da valutare era l'importanza relativa della forma o del colore del bersaglio nella ricerca e nel reperimento di sostanze nutritive da parte delle api. In altre parole si voleva accertare, fin dove possibile, se sia più importante la forma o il colore dei fiori come segnale visivo per le api, dando per scontato che ambedue le caratteristiche concorrono armonicamente, in natura, nel guidare la scelta dell'insetto. Il confronto tra una forma geometrica non preferita (quadrato) di un certo colore, preferito o no, con una forma geometrica preferita (stella) su sfondo bianco ci ha consentito di conseguire una serie di osservazioni molto interessanti. L'esame dei diagrammi riportati nel testo è di per sé eloquente. Nel confronto tra un colore preferito (lilla) e la forma preferita su sfondo bianco si è evidenziato, in modo inequivocabile, come il segnale colore prevalga nettamente e determini una altissima frequenza di scelta (quasi il 90%). Al contrario dove il colore perde ogni valenza attrattiva, come nel caso dell'azzurro, la forma geometrica riacquista la sua egemonia e attira le api in maniera quasi esclusiva. Negli altri casi si verificano molte situazioni intermedie che mostrano come, nelle scelte dell'ape,

il colore e la forma rivestano una funzione riccamente intrecciata e, si potrebbe dire, intrareferenziale, nel senso che esiste la possibilità di una reciproca compensazione ed equilibratura percettiva. Si evidenzia inoltre, al di là di quanto detto, una possibile fungibilità tra i due segnali. Come dice Kanisza (1980): « spazio e colore non sono, cioè, elementi distinti, che si possono considerare in isolamento assoluto, ma molto di più come momenti interdipendenti di un processo unitario di organizzazione percettiva ». Questa ipotesi ci sembra valida sia per l'uomo che per l'ape.

#### RIASSUNTO

Da tempo è noto che l'ape è in grado di percepire alcuni colori e alcune forme. La sperimentazione in merito è stata condotta negli ultimi 50 anni separatamente, distinguendo i colori e le forme che l'ape preferisce dai colori e dalle forme che l'attirano poco e debolmente. In questa nostra ricerca abbiamo creato nell'insetto un conflitto preferenziale associando un colore favorito ad una forma poco gradita e una forma attraente ad un colore neutro o pressoché. Dalla sperimentazione è risultato che il colore preferito, lillà o giallo, prevale, nell'attrarre le api, sulla stella a otto punte, mentre negli altri casi l'attrattività resta scarsamente differenziata ed in pratica equivalente.

#### Studies on ethology of Honeybee in greenhouse.

##### 2.

#### *Apis mellifera* L. (Hymenoptera Apidae): Visual perception in relation to shape and colour interaction.

#### SUMMARY

It has been known for some time that the bee can perceive certain colours and shapes. Experiments over the last 50 years have shown that bees prefer certain colours and shapes to others. This trial was conducted by setting up a preference conflict. A preferred colour was associated with a less attractive shape (square) and preferred shape (star) with a neutral, or nearly so, colour (white). The results show that the preferred colour, i.e. lilac or yellow, dominated the shape (eight-pointed star) in attracting bees. In the other trials, attraction was poorly differentiated and basically remained equivalent.

#### BIBLIOGRAFIA CITATA

- AUTRUM H., 1972. — Les yeux et la vision des Insects - *Traité de zoologie*. Tome VIII, Fascicule III: 742-841.
- CELLI G., 1985. — Contributi all'etologia dell'ape in serra. 1. Food-Games con le api - *Atti XIV Cong. naz. ital. Ent.*, Palermo, 1985: 673-680.



- DAUMER K., 1956. — Reizmetrische untersuchung des farbenschens der Bienen. - *Z. Vergl. Physiol.*, 38: 413-478.
- FRISCH VON K., 1914. — Der farbensen und formensen der Bienen. - *Zool. Jharb., Abt. Allg. Zool. Physiol.*, 35: 1-182.
- FRISCH VON K., 1980. — Nel mondo delle api - *Edagricole*, Bologna.
- GOLDSMITH T. R., RUCK P., 1958. — The spectral sensitivities of the dorsal ocelli of cockroaches and honeybees - *J. Gen. Physiol.*, 41: 117-1185.
- HERTZ M., 1933. — Über figurale intensitat und qualitat in der Optischen Wahrnehmung der Biene - *Biol. Zbl.*, 53: 10-40.
- HERTZ M., 1934. — Die untersuchungen über den formensen der Honigbiene - *Naturwiss.*, 23: 618-624.
- HERTZ M., 1937. — Versuche über das Farbensystem der Bienen - *Naturwiss.*, 25: 492-493.
- HERTZ M., 1937a. — Beitrag zum farbensen und formensen der Bienen. - *Z. Vergl. Physiol.*, 24: 413-421.
- HERTZ M., 1939. — New experiments on color vision in bees - *J. Exptl. Biol.*, 16: 1-8.
- KANISZA G., 1980. — La grammatica del vedere. - *Il Mulino*, Bologna.
- KUHN A., 1927. — Über den Farbensin der Bienen. - *Z. Vergl. Physiol.*, 5: pp. 762-800.
- MELNICHENKO A. N., 1963. — Geographic variability of the honeybee eye - *Ent. Ochr.*, 42: 118-126.
- MENZEL R., ERBER J., 1978. — Apprendimento e memoria nelle api. - *Le scienze (ediz. italiana di «Scientific American»)*, 121: 66-74.
- RONACHER B., 1979. — Äquivalenz swischen Grössen - und Helligkeitsunterschieden in Rahmen der visuellen Wahnehmung der Honigbiene - *Biol. Cybernetics*, 32: 63-75.
- RONACHER B., 1979. — Beitrag einzelner Parametre zum wahrnehmungsgemässen Unterschied von zusammengesetzten Reizen bei der Honigbiene - *Biol. Cybernetics*, 32: 77-83.
- RONACHER B., 1980. — Ein einfacher Zusammenhang zwischen der Äquivalenzbeziehung und der Unterschiedsempfindlichkeit für zwei Musterparameter bei der Honigbiene. - *Biol. Cybernetics.*, 36: 51-61.
- RONACHER B., 1983. — Unabhängigkeit der Bewertung zweiter Musterparameter von deren Unterschiedlichkeitsgrad bei der Dressur. - *Biol. Cybernetics*, 46: 173-182.
- ZERRAN :, 1933-34. — Formendressen und Formenunterscheidung bei der Honigbiene. - *Z. Vergl. Physiol.*, 20: 117-150.