

IL CONCETTO DI TEMPO NEGLI ORGANISMI "A SANGUE FREDDO" (ETEROTERMI)

L'uomo è abituato a considerare il tempo come una grandezza universale, uguale per gli organismi viventi e per tutti i fenomeni naturali. Così però non è, essendo questa solo una approssimazione nonché una eccessiva antropizzazione della visione del mondo che ci circonda. Già Einstein dimostrò nelle sue ben note teorie sulla relazione tra tempo, materia, velocità e spazio, che il concetto di tempo deve essere sempre relativizzato alla velocità a cui un dato fenomeno fisico si verifica; pertanto se un fenomeno avviene a velocità molto minore di quella della luce, il tempo trascorre molto più rapidamente rispetto a quanto accadrebbe se lo stesso fenomeno si verificasse a velocità prossima a quella della luce. Nella esperienza di tutti i giorni però, e quindi anche nel campo delle scienze della vita, questa è una evenienza impossibile e pertanto possiamo affermare che nella biologia le leggi di Einstein, pur sempre valide, non hanno alcun riscontro pratico rilevabile.

Mentre nella fisica il concetto di tempo è influenzato dalla velocità a cui i fenomeni accadono, in biologia il concetto di tempo è influenzato da un altro fattore: la temperatura. Da molti secoli infatti naturalisti e chimici si erano già avveduti della profonda influenza che giocava la temperatura sui processi vitali e biochimici, ma non si era mai proceduto ad una integrazione teorica dei due fenomeni, almeno fin quando non ci si rese conto dei seguenti fatti:

a) esiste una profonda differenza fisiologica tra organismi a temperatura controllata endogenamente (endotermi) ed organismi privi di meccanismi fisiologici di controllo della temperatura, dipendenti quindi dalle variazioni ambientali (eterotermi);

b) la cinetica delle reazioni biochimiche è dominata da complessi sistemi enzimatici (proteine) che hanno un ambito ben circoscritto di temperature entro le quali svolgono la loro funzione, mentre fuori da questo ambito diventano altamente inefficienti.

Considerando gli effetti biologici della relazione tempo-temperatura si può definire quanto segue: la temperatura, nell'ambito della nicchia termica, influenza soprattutto la biologia dello sviluppo delle specie eteroterme. Per nicchia termica si intende l'intervallo di temperature che consentono ad una data specie di vivere e svolgere normalmente le proprie funzioni vitali e comportamentali. Essa è solitamente caratterizzata da: una temperatura minima (Soglia Termica Minima, STM), al di sotto della quale le funzioni vitali di un organismo si bloccano ed intervengono danni irreversibili; una temperatura massima (Soglia Termica Superiore, STS), al di sopra della quale non è possibile vivere per il sopraggiungere di danni fisiologici e chimici irreversibili; una temperatura ottimale di sviluppo a livello della quale l'organismo esibisce la massima vitalità. Entro limiti termici vitali (ovvero nella nicchia termica) si ha che la velocità di sviluppo di una specie eteroterma incrementa linearmente con l'aumento della temperatura: maggiore è la temperatura, minore sarà la durata dello sviluppo e di conseguenza maggiore sarà il tasso di sviluppo nell'unità di tempo. Quindi nelle specie eteroterme il tempo "rallenta" al diminuire della temperatura, mentre "accelera" all'aumentare di questa. Un esempio servirà a chiarire quanto esposto. Una specie eteroterma, con STM = 16 °C, può svilupparsi in 5 giorni a 30 °C (14 °C sopra STM) e in 17,5 giorni a 20 °C (STM+ 4 °C); in entrambi i casi si ottiene la stessa proporzione tra temperatura sopra STM e giorni di sviluppo: $17,5 \times 4 = 5 \times 14 = 70$. In questo caso pertanto si affermerà che la specie in questione necessita di 70 °C/giorno per completare il suo sviluppo. Da ciò ne deriva che per ogni temperatura di sviluppo compresa fra la temperatura minima e massima della nicchia termica, si associa una diversa durata dello sviluppo, tale che il prodotto sarà costantemente 70 °C/giorno. Effettivamente quindi si può dire che negli organismi eterotermi o a sangue freddo (es.: molluschi, insetti, crostacei, pesci, anfibi, rettili), l'abbassamento della temperatura allunga i tempi di sviluppo.

Entro il range termico di sviluppo di una specie eteroterma è quindi possibile descrivere una relazione lineare tra temperatura e tempo secondo la seguente formula: $K = (T - STM)ds$ dove T= temperatura costante di sviluppo, ds= durata dello sviluppo espresso in giorni. Ovviamente in natura si useranno temperature medie giornaliere per cui $T = (T_{max} - T_{min})/n$, dove n= numero di giorni.

Queste relazioni sono ovviamente inapplicabili allorquando si verificano

condizioni momentanee in cui la temperatura supera ripetutamente la STM o la STS; nelle regioni temperate di norma la temperatura ambientale è compresa nella nicchia termica vitale di una specie durante tutto il corso del suo sviluppo; del resto l'orologio biologico stagionale delle specie è continuamente selezionato per "tararsi" perfettamente nell'optimum termico stagionale richiesto dal proprio sviluppo. Per una specie eteroterma, quindi, si definisce tempo fisiologico effettivo la differenza $T - STM$; si ottiene pertanto che se $T = STM$, l'orologio fisiologico della specie si ferma, mentre K diviene negativa se $T < STM$ (morte).

Per la rappresentazione grafica sugli assi cartesiani della relazione lineare temperatura-tempo negli organismi eterotermi, si possono usare due procedure. Un primo tipo di grafico si ottiene ponendo sull'asse "Y" la durata dello sviluppo mentre sull'asse "X" la temperatura; la curva ottenuta è una iperbole tendente all'infinito parallelamente all'asse "X" all'incrementare della temperatura, in quanto i giorni necessari allo sviluppo (asse "Y") diminuiscono; inoltre tenderà all'infinito parallelamente lungo l'asse "Y" al diminuire della temperatura, in quanto i giorni necessari per completare lo sviluppo tenderanno ad aumentare esponenzialmente all'abbassarsi della temperatura. Le soglie minime e massime di sviluppo a questo punto si possono ottenere graficamente: STM = dal punto in cui la curva diviene parallela all'asse "Y" (minima T per effettuare lo sviluppo); STS = dal punto in cui la curva diviene parallela all'asse "X" (massima T per effettuare lo sviluppo).

Una seconda modalità di rappresentazione considera la velocità di sviluppo ad una data temperatura sull'asse "Y" e la temperatura sull'asse "X". La velocità di sviluppo si ottiene molto semplicemente effettuando l'inverso del numero di giorni necessario per completare lo sviluppo ad una data temperatura. Si ottiene una retta con gli apici "a sigmoide". STM sarà data dal prolungamento del tratto retto della curva fino alla intersezione con l'asse "X", mentre STS sarà l'inizio della "concavità in basso" all'apice superiore della curva ottenuta.

Alcuni problemi operativi possono però rendere non immediato l'ottenimento di tali dati. Infatti la data convenzionale di inizio per la rilevazione delle temperature varia a seconda delle specie e del contesto, ma solitamente si opta per una delle soluzioni seguenti:

- a) data del primo volo nel caso di insetti;
- b) data di inizio ovideposizione;

c) primo giorno in cui $T_{min} > STM$;

d) nelle specie con diapausa (o letargo) il giorno "1" dovrebbe corrispondere al primo giorno post-diapausa in quanto è solo a partire da questo che l'individuo viene effettivamente influenzato dalla temperatura ambientale.

Uno dei principali problemi pratici è quello di avere fluttuazioni termiche locali e/o giornaliere molto accentuate, cosa che allontana notevolmente i dati raccolti in laboratorio da quelli raccolti sul campo. Una volta stabilita STM per lo sviluppo di una specie eteroterma, si possono adottare delle procedure al fine di smussare la variabilità termica locale e/o giornaliera. Un metodo consiste nel fare la media aritmetica tra T_{max} e T_{min} giornaliera da cui si sottrarrà STM. Con l'uso della temperatura media si ottengono risultati soddisfacenti quando T_{min} non è mai inferiore a STM; pertanto si sconsiglia di iniziare i rilievi termici fin quando la temperatura minima giornaliera non raggiungerà stabilmente STM. Inoltre buona regola sarebbe quella di accertarsi che tutti gli stadi di sviluppo della specie (uovo, larva, pupa, immagine nel caso degli insetti) rispondano allo stesso modo al variare della temperatura; infatti viene dato come assunto di base che tale risposta sia identica, mentre c'è evidenza scientifica che ciò non sempre è risultato corretto. Inoltre ci sono delle eccezioni documentate tra gli insetti in cui la durata dello sviluppo non è correlata in modo lineare con la temperatura.

Nonostante queste difficoltà operative, comunque l'applicazione della formula $K = (T-STM)ds$ porta ad un risultato sorprendente: è possibile conoscere in anticipo, con una certa approssimazione, quando una specie eteroterma (es.: insetto) completerà lo sviluppo. Infatti se è nota la STM da prove di laboratorio (vedi sotto) è possibile conoscere la durata dello sviluppo in base alla semplice formula $ds = K/(T-STM)$. Ciò è molto utile in quanto conoscendo la STM di un insetto dannoso all'agricoltura è possibile prevedere la comparsa dei diversi stadi di sviluppo oppure il completamento dello sviluppo stesso, tramite i soli rilievi termici giornalieri, e quindi programmare efficaci strategie di difesa, prima che la densità del fitofago diventi eccessiva e di conseguenza difficilmente controllabile. Ovviamente questo metodo non va considerato risolutore in quanto deve essere affiancato da rilievi e monitoraggi locali giornalieri, ma certamente offre la possibilità di prevedere accuratamente la comparsa di insetti dannosi in base alla sola temperatura locale, una volta nota la STM.

Ma come può essere ottenuta la stima di STM per una data specie di insetto? Con delle semplici prove di laboratorio. Il protocollo da seguire per ottenere una buona stima della STM in una specie eteroterma prevede di avviare in un laboratorio a fotoperiodo e umidità costanti (es.: 16 ore luce e 8 ore buio; 70-75% umidità relativa), l'allevamento della specie a partire da uova appena deposte. Queste devono essere suddivise in tre gruppi (anche due sono sufficienti) ognuno allevato ad una diversa temperatura costante ma compresa ovviamente nella nicchia termica vitale della specie. A questo punto si conteranno i giorni di sviluppo per ogni stadio dell'insetto (uovo, larva, pupa) e quindi la durata complessiva dello sviluppo. Presupponendo che la relazione tra velocità di sviluppo e temperatura sia lineare, si costruirà il grafico (assi: Y giorni sviluppo, X temperatura; Y velocità sviluppo = inverso giorni sviluppo; X temperatura). Dopo aver elaborato le curve di crescita si ricava graficamente STM e STS per i due grafici come precedentemente spiegato; ottenuta STM si ricava la costante termica della specie (K). Oggi per semplificare il tutto, particolarmente per i dati raccolti in campo, sono disponibili anche dei software che elaborano i grafici direttamente (vedi bibliografia).

Le specie eteroterme subiscono notevolmente l'ambiente, e l'effetto più evidente è la relazione tempo-temperatura sul loro sviluppo, tale che essi sono completamente dipendenti dall'ambiente esterno per quanto riguarda la durata e la dinamica della loro vita. Invece nei gruppi di organismi a "sangue caldo" ovvero uccelli e mammiferi, si è verificato un fatto evolutivamente eccezionale: lo svincolo dalla temperatura ambientale nel determinare la durata e dinamica del proprio sviluppo, rendendo quindi costante il tempo fisiologico e non variabile come negli eterotermi. In pratica uccelli e mammiferi, producendo calore direttamente dal loro metabolismo, hanno eliminato dalla loro fisiologia il concetto grafico e matematico di STM rispetto agli eterotermi.

Un ultimo punto va chiarito: come mai a temperature basse lo sviluppo degli organismi eterotermi impiega più giorni a completarsi e viceversa a temperature alte? Come mai a temperature uguali a STM lo sviluppo si blocca? La spiegazione risiede nel funzionamento dei sistemi enzimatici che controllano il metabolismo. Infatti gli enzimi possono funzionare bene solo a determinate temperature per far avvenire (catalizzare) le reazioni chimiche nel corpo; ebbene, più è bassa la temperatura e minore sarà la velocità di funzionamento degli enzimi e di conseguenza, diminuirà la velocità a cui avvengono le reazioni chimiche.

Quindi lo sviluppo altro non è che il fenomeno biologico visibile dato dalla sommatoria di tutte le reazioni chimiche che avvengono in un organismo dallo stadio uovo fino alla sua maturità. Pertanto STM è proprio la temperatura che fa bloccare gli enzimi, fermando il tempo fisiologico della specie eteroterma, mentre STS è la temperatura alla quale gli enzimi letteralmente si "cuociono" e, come delle macchine irreparabilmente danneggiate, non svolgono più la loro funzione: le reazioni chimiche si bloccano.

Bibliografia consultata:

Testi ed Articoli:

Baker C.R.B., 1980 – Some problems in using meteorological data to forecast the timing of insect life cycles. – EPPO Bull., 10(2): 83-91.

Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. 1989 - Ecology: Individuals, Populations and Communities. - Blackwell Scientific Publication.

Bishara I., 1934 – The cotton worm, *Prodenia litura* F., in Egypt. – Bull. Soc. Roy. Entomol. Egypte, fasc. 1-3: 288-349.

Pennacchio F., Tremblay E., 1990 – I gradi-giorno e il loro uso nel controllo integrato degli insetti dannosi in agricoltura. – Notiziario sulle Malattie delle Piante, 111: 80-102.

Pruess K.P., 1983 – Day-degree methods for pest management. – Environ. Entomol., 12(3): 613-619.

Rapagnani M.R., Caffarelli V., Barlattani M., 1988 – *Lobelia botrana* Schiff.: studio in laboratorio del ciclo di sviluppo in funzione della temperatura. – Atti XV C.N.I.E. L'Aquila 1988: 973-980.

Tauber M.J., Tauber C.A., 1976 – Insect seasonality: diapause maintenance, termination and postdiapause development. – Ann. Rev. Entomol., 21: 81-107.

Taylor F., 1981 – Ecology and evolution of physiological time in insects. – Amer. Natur., 117(1): 1-23.

Software:

Higley L.G., Pedigo L.P., Ostlie K.R., 1986 – Degday. – Environ. Entomol., 15(5): 999-1016.

<http://biomet.ucdavis.edu/DegreeDays/DegDay.htm>

<http://www.automata-inc.com/datasheets/Degree%20Day.pdf>

<http://www.automata-inc.com/product.htm>