CENEX-FALE UFMG – EXAME DE PROFICIÊNCIA EM ITALIANO PARA PROCESSOS SELETIVOS DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO

ÁREA 2 – CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA, ENGENHARIAS

La matematizzazione della biologia e la biomatematica

di Giorgio Israel

1. Le sorgenti concettuali e pratiche

La prima utilizzazione diffusa di metodi quantitativi nell'analisi dei fenomeni biologici si ebbe nel Seicento con la compilazione delle tavole di mortalità, che riportavano il numero degli individui deceduti in un dato paese, regione o città, a intervalli di tempo prefissati e secondo le fasce d'età. Queste raccolte di dati quantitativi, sempre più ricche e precise, stimolarono la domanda sull'esistenza di leggi scientifiche, espresse in termini matematici, descriventi l'andamento della mortalità delle popolazioni umane. Se nacque in questo contesto il primo sviluppo di quel che oggi chiamiamo la 'dinamica di una popolazione', cioè lo studio delle variazioni quantitative di una popolazione nel tempo, nel corso del Settecento prese corpo il primo tentativo di trattazione sistematica di un problema biologico con strumenti matematici. Il problema era fra i più dibattuti all'epoca: come combattere il vaiolo? Si era constatato che l'inoculazione di siero vaccino infetto in individui sani produceva una forma attenuata della malattia che, apparentemente, comportava una diminuzione della mortalità e il vantaggio dell'immunità per i soggetti sopravvissuti. Si trattava dunque di dimostrare in modo inoppugnabile la convenienza dell'inoculazione. Nel 1760 Daniel Bernoulli (1700-1782) affrontò la questione in un lavoro pubblicato soltanto nel 1766, *Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantage de l'inoculation pour la prévenir*, che può essere considerato come una delle prime forme di matematizzazione di un problema di dinamica delle popolazioni e, al contempo, di epidemiologia. Applicando il calcolo delle probabilità alle tavole di mortalità disponibili, sotto l'ipotesi che "le leggi più semplici della natura sono sempre le più plausibili", egli calcolò il numero degli individui che sarebbero dovuti morire per infezione da vaiolo e l'aspettativa di vita derivante dall'inoculazione per le varie fasce di età e concluse che l'analisi matematica era chiaramente a favore della scelta dell'inoculazione.

Il lavoro di Bernoulli suscitò la reazione di Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), il quale convenne circa l'opportunità dell'inoculazione ma contestò radicalmente l'analisi matematica di Bernoulli, mettendo in dubbio l'efficacia del calcolo delle probabilità e persino l'opportunità di ricorrere allo strumento matematico: "Le mie obiezioni – osservava d'Alembert – attaccano soltanto i matematici che potrebbero affrettarsi troppo a ridurre questa materia in equazioni e in formule" (d'Alembert 1761-80).

La questione venne ripresa una trentina di anni dopo da Emmanuel-Étienne Duvillard de Durand (1755-1832), uno dei massimi statistici della Francia dell'epoca, autore di tavole di mortalità che furono utilizzate da gran parte delle compagnie di assicurazione europee fino alla seconda metà dell'Ottocento. In una memoria del 1795, sulla base di una nuova espressione della legge di mortalità e unendo una profonda conoscenza del calcolo delle probabilità a un dominio eccezionale dei dati empirici, Duvillard prendeva le parti di Bernoulli contro d'Alembert convalidando la tesi del vantaggio dell'inoculazione (Duvillard de Durand 1806).

La carriera di Duvillard fu stroncata dall'ostilità di Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) e della sua scuola, contrari a considerare su un piano di parità le applicazioni della matematica alle scienze fisiche e non fisiche. Jean-Baptiste Biot (1774-1862), allievo di Laplace, in una relazione del 1813 criticò il tentativo di Duvillard di elaborare una teoria della popolazione basata

su leggi matematiche, affermando che "qui non è come nel moto dei corpi celesti in cui le forze perturbatrici, sempre regolari persino nelle loro variazioni, hanno sempre un'influenza estremamente piccola rispetto a quella della forza principale". Nei processi non fisici è impossibile "cogliere e fissare modificazioni tanto variabili" e stabilire una gerarchia tra fenomeni basilari e fenomeni accessori. I tentativi di matematizzazione venivano in tal modo respinti nell'ambito della pura raccolta di dati quantitativi, impotente a determinare leggi paragonabili a quelle della fisica-matematica.

2. La stasi ottocentesca

L'Ottocento rappresenta un secolo di stasi quasi totale dei tentativi di matematizzare i fenomeni biologici. Le ricerche quantitative che si erano sviluppate nel contesto dell'aritmetica politica e della matematica sociale vennero sfrondate di ogni aspetto teorico e confluirono nel grande filone della demografia condotta secondo metodi statistici, o di quella che più tardi sarà chiamata 'biometria'. In questo panorama risaltano ancor di più i rarissimi contributi miranti a una visione quantitativa di carattere teorico. Essi appartengono tutti al campo della dinamica delle popolazioni, mentre i tentativi di applicare la matematica ad altre problematiche biologiche – come l'elaborazione di una teoria del movimento dei corpi viventi, ossia una 'meccanica animale', fondata sui principî della meccanica classica –, che avevano avuto qualche sviluppo nel corso del Settecento sulla scia delle ricerche della scuola di 'iatromeccanica' di Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), vengono abbandonati.

La prima legge dell'evoluzione quantitativa delle popolazioni viventi fu formulata nel 1798 da Thomas R. Malthus (1766-1834) nel suo celebre trattato *Essay on population* (1798). Malthus la enunciò sostenendo che "in assenza di ostacoli al suo sviluppo, una popolazione cresce secondo una progressione geometrica". Tuttavia, Malthus non enunciò in termini matematici la sua legge, né lo fece Lambert-Adolphe-Jacques Quételet (1796-1874), fondatore della 'fisica sociale', che pure fu uno dei pochi a interessarsene, per proporne una correzione nei seguenti termini: "la resistenza, o la somma degli ostacoli allo sviluppo di una popolazione è come il quadrato della velocità con cui la popolazione tende a crescere" (Quételet 1835). Queste osservazioni stimolarono l'interesse del matematico belga Pierre-François Verhulst (1804-1849), che non soltanto tradusse per la prima volta la legge di Malthus in formula matematica – ovvero nell'equazione differenziale $dp/dt=mp(t)$, dove $p(t)$ esprime il numero di individui della popolazione all'istante t e m è il tasso di crescita costante della popolazione, la quale cresce pertanto in modo esponenziale – ma introdusse un fattore di correzione della crescita dipendente dal numero degli individui e precisamente proporzionale al loro quadrato. In tal modo egli enunciò la 'legge logistica' di crescita di una popolazione, $dp/dt= =mp(t)-np(t)^2$, che offrì una prima descrizione semplice, ma meno rudimentale di quella di Malthus, della dinamica di una popolazione.

Tuttavia, i lavori di Verhulst caddero nell'oblio più completo dopo la sua morte e fu necessario attendere il 1920 perché la legge logistica venisse riscoperta e riportata all'attenzione dal biologo statunitense Raymond Pearl (1879-1940); di qui la denominazione usuale di 'equazione di Verhulst-Pearl' per l'equazione logistica. Pearl ne verificò l'efficacia in relazione allo sviluppo della popolazione degli Stati Uniti e alla crescita delle popolazioni di *Drosophila melanogaster*, il moscerino dell'aceto.

Questo balzo temporale di settant'anni esprime assai bene la stasi ottocentesca di cui abbiamo parlato. In verità, qualche primo sintomo di un rinnovato interesse per l'approccio matematico si era avuto già alla fine dell'Ottocento per opera di Ronald Ross (1857-1932), che nel 1902 ricevette il premio Nobel per la medicina o la fisiologia per le sue ricerche sulla malaria. Rompendo con la tradizione statistica, che a partire dalle osservazioni empiriche costruiva leggi analitiche coerenti con i dati numerici, Ross mirava a uno studio quantitativo della diffusione delle epidemie basato sulla formulazione di leggi generali, capaci di rendere conto di una vasta gamma di questioni variamente connesse tra di loro, dalla demografia alla salute pubblica, ai processi

evolutivi e persino al commercio e alla politica. La prima occasione che gli si presentò per applicare queste idee fu l'esigenza di dimostrare con rigore la sua tesi secondo cui l'incidenza della malaria dipende dalla densità della popolazione di zanzare nell'area interessata. Allo scopo, egli formulò un modello matematico generale delle relazioni fra la dinamica delle popolazioni degli uomini e delle zanzare e la dinamica di diffusione della malattia. Il modello mostrava che la malattia poteva continuare a diffondersi soltanto se il numero delle zanzare superava una certa soglia. [...]

3. L'età d'oro della biologia teorica: 1920-1940

A ragione, il ventennio 1920-1940 è stato definito 'l'età d'oro della biologia teorica' (Scudo 1984). In questo periodo si verifica una vera e propria esplosione delle ricerche in biologia matematica; esse si orientano in quattro direzioni principali: la dinamica delle popolazioni, la diffusione delle epidemie, la genetica delle popolazioni e una vasta pleiade di modelli che mirano ad analizzare gli aspetti più disparati della fisiologia e della patologia del corpo umano. [...]

Contribuisce alla caduta delle resistenze nei confronti dell'uso della matematica nello studio del mondo vivente la crisi definitiva del pensiero romantico e delle concezioni vitalistiche, nonché la ripresa di un punto di vista materialistico, sia pure in senso metodologico, secondo la locuzione di Rudolf Carnap (1891-1970). Se ancora agli inizi del secolo gran parte dei biologi e dei matematici era ostile o scettica nei confronti dell'uso della matematica in biologia, in pochi anni la situazione si rovesciò in modo impressionante.

Lo sviluppo della dinamica delle popolazioni è dovuto all'opera fondamentale di due scienziati: lo statistico statunitense Alfred J. Lotka (1880-1949) e il matematico italiano Volterra. Lotka era un funzionario di una compagnia di assicurazioni di New York che svolse per tutta la vita, in forma quasi privata, un'intensa e originale attività di ricerca scientifica che spaziava dalla demografia alla dinamica delle popolazioni, dalla dinamica chimica all'energetica dei sistemi viventi, in una cornice fortemente influenzata dall'evoluzionismo spenceriano. Le sue riflessioni circa il mondo vivente, visto come un grande 'sistema di trasformatori di energia', furono raccolte in un volume ormai classico *Elements of physical biology*, pubblicato nel 1925. Il volume conteneva un modello matematico dell'interazione fra due popolazioni animali – una delle quali era parassita dell'altra – ispirato per analogia al modello matematico di una reazione chimica oscillante ipotetica, formulato dallo stesso Lotka nel 1920.

Sempre in quell'anno, Volterra trasformò i suoi generici interessi per la matematizzazione della biologia in intervento diretto sul campo, dietro lo stimolo dello zoologo Umberto D'Ancona (1896-1964), suo genero. D'Ancona aveva rilevato, attraverso analisi statistiche, un curioso fenomeno nella dinamica delle popolazioni di pesci prede e predatori dell'Alto Adriatico: precisamente, durante la Prima guerra mondiale, la percentuale dei secondi – che in genere si manteneva stazionaria – si era accresciuta sensibilmente. Ciò era probabilmente dovuto alla stasi peschereccia determinata dalla guerra e D'Ancona chiese a Volterra di dimostrarlo matematicamente. Questo spunto suggerì a Volterra la formulazione di un sistema di equazioni identico a quello di Lotka, che oggi va sotto il nome di 'equazioni di Volterra-Lotka'. [...]

Fonte: http://www.treccani.it/enciclopedia/la-seconda-rivoluzione-scientifica-matematica-e-logica-la-matematizzazione-della-biologia-e-la-biomatematica_(Storia-della-Scienza)/
Acesso: fevereiro de 2017 (texto adaptado).

Questões

1. De que trata o trabalho de Daniel Bernoulli? (sugestão: 9 linhas)

2. Em que consiste a crítica de Jean-Baptiste Biot a Duvillard? (sugestão: 6 linhas)

3. Quem é o autor e o que defendia a primeira lei da evolução quantitativa das populações vivas? (sugestão: 4 linhas)

4. Qual era o objetivo de Ronald Ross ao romper com a tradição estatística nos estudos das epidemias? (sugestão: 11 linhas)

5. Que fenômeno curioso foi percebido por Humberto D'Ancona? (sugestão: 5 linhas)