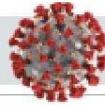


La matematica del contagio che ci aiuta a ragionare

di **Paolo Giordano**

La matematica del contagio è semplice. Tanto semplice quanto cruciale. Ora che abbiamo imparato a lavarci le mani come si deve, il secondo aspetto a cui dovremmo rivolgere la nostra attenzione è proprio, a sorpresa, la matematica.
continua alle pagine **16 e 17**

Primo piano | L'emergenza sanitaria



LA SCIENZA, IL VIRUS E NOI

La matematica del contagio che ci aiuta a ragionare in mezzo al caos

gruppi. Un segreto della matematica è di non andare mai troppo per il sottile, e la matemati-

di **Paolo Giordano**

SEGUE DALLA PRIMA

Se rinunciamo allo sforzo, rischiamo di non capire granché di quanto ci sta accadendo e di lasciarci prendere, come molti in queste ore, da suggestioni poco fondate.
Per cominciare dividiamoci in tre



ca del coronavirus distingue la popolazione, tutti noi, in modo grossolano: ci sono i Suscettibili (S), cioè le persone che potrebbero essere contagiate; gli Infetti (I), cioè coloro che sono già stati contagiati; e i guariti, i *Recovered* (R), cioè quelli che sono stati contagiati, ne sono usciti e ormai non trasmettono più il virus. Ognuno di noi è in grado di riconoscersi all'istante in una di queste categorie, le cui iniziali formano il nome del modello a cui gli epidemiologi si rivolgono in queste settimane come a un oracolo: il modello SIR. Fine.

Ok, non proprio fine. Manca almeno un altro concetto. Dentro il modello SIR, dentro il cuore di ogni contagio, si nasconde un numero, diverso per ogni malattia. Nei giorni scorsi è spuntato qua e là in discussioni e articoli. Viene indicato convenzionalmente come R_0 , «erre con zero», e il suo significato è di facile interpretazione: R_0 è il numero di persone che, in media, ogni individuo infetto contagia a sua volta. Per il morbillo, ad esempio, R_0 è stimato intorno a 15. Vale a dire che, durante un'epidemia di morbillo, una persona infetta ne contagia in media altre quindici, se nessuna è vaccinata. Per la parotite, R_0 è all'incirca 10. Per il nostro coronavirus, la stima di R_0 è intorno a 2,5. Qui qualcuno salta subito alle conclusioni e smette di leggere: «Evviva! È basso! Al diavolo la matematica!». Non esattamente. L' R_0 dell'influenza spagnola, quella del 1918, è stato calcolato retrospettivamente intorno a 2,1.

Ma per adesso non vogliamo affrettarci a stabilire se l'erre-con-zero del coronavirus sia alto o basso. C'interessa sapere, più in generale, che le cose vanno davvero bene quando R_0 è inferiore a 1. Se ogni infetto non contagia almeno un'altra persona, la diffusione si arresta da sola, la malattia è un fuoco di paglia, uno scoppio a vuoto. Se, al contrario, R_0 è maggiore di 1, anche di poco, siamo in presenza di un principio di epidemia.

Per visualizzarlo, basta immaginare che i contagiati siano delle biglie. Una biglia solitaria, il famigerato paziente zero, viene lanciata e ne colpisce altre due. Ognuna di queste ne colpisce altre due, che a loro volta ne colpiscono altre due a testa. Eccetera. È quella che viene chiamata una crescita esponenziale, ed è l'inizio di ogni epidemia. Nel primo periodo, sempre più persone vengono contagiate sempre più velocemente. Quanto velocemente, dipende dalla grandezza di R_0 e da un'altra variabile fondamentale di questa matematica trasparente e decisiva: il tempo medio che inter-

corre tra quando una persona viene infettata e il momento in cui quella stessa persona ne infetta un'altra — una finestra temporale che, nel caso di Covid-19, è stimata a circa sette giorni.

Fine, per davvero. Avendo assorbito queste poche informazioni, possiamo riassumere tutti gli sforzi istituzionali, tutte le misure «draconiane», le quarantene, la chiusura di scuole e teatri e musei, le strade vuote, in un'unica intenzione matematica: abbassare il valore di R_0 . È quello che stiamo facendo con le nostre dolorose rinunce. Perché quando R_0 si abbassa, l'espansione rallenta. E quando R_0 viene faticosamente riportato sotto il valore critico di 1, la diffusione inizia ad arrestarsi. A partire da quel momento è l'epidemia stessa, non più le persone, a soffocare.

CHE ESAGERATI!

Negli ultimi giorni si è aperta una faglia tra chi accetta con umiltà quanto viene disposto dall'alto e chi grida all'esagerazione, alla follia, alla «psicosi collettiva». O magari non grida nemmeno, assume un atteggiamento più sprezzante, più intellettuale, come a dire «poveri stolti, si lasciano infinocchiare», che in fondo è la stessa cosa. Questo tipo di scetticismo è trasversale, non dipende dal livello d'istruzione, né dalla provenienza o dall'età — forse dall'età un po' sì, gli adulti-adulti sembrano particolarmente inclini. A ogni modo è un atteggiamento umano, ed è particolarmente in voga nella nostra epoca. Ma chi insiste a dire che il contenimento eccezionale messo in atto è «esagerato» non ha capito la matematica. Oppure l'ha travisata.

Un fraintendimento comune, per esempio, nasce dal raffronto proposto con l'influenza stagionale. Ciò che di Covid-19 assomiglia all'influenza stagionale è il modo del contagio, il fatto che avvenga per lo scambio di goccioline sprate in aria attraverso gli starnuti e la tosse. E ci sono i sintomi generali, certo, che si confondono — una confusione che ha causato ritardi nel contenimento iniziale, nonché incidenti spiacevoli come quello dell'ospedale di Codogno. Ma al momento non c'è alcuna evidenza che il coronavirus debba avere un autonomo picco stagionale per poi recedere, come le influenze ordinarie.

Riguardo al picco di contagi, poi, qualcun altro si è lasciato ingannare dalla notizia che in Cina sia già stato superato. E che questo accadrà molto presto anche da noi. È l'interpretazione errata di un dato. Sarebbe più corretto dire che «un» picco, il primo, è stato raggiunto e superato in Cina. Ciò è accaduto proprio ed esclusivamente in ragione delle misure iper-restrittive che la Cina ha applicato, ovvero bloccare qualche centinaio di milioni di persone in casa. Non a causa di una caratteristica intrinseca della malattia. Insomma R_0 , in Cina e poi da noi, è stato trascinato giù a forza. E adesso viene mantenuto basso a forza, come

se tutti quanti, ubbidendo alle istituzioni, stesso premendo sul coperchio di una pentola piena d'acqua in ebollizione.

Nel momento in cui le misure venissero allentate, in Cina come qui, è probabile che R_0 tornerebbe al suo valore «naturale» di 2,5. Il contagio ricomincerebbe a diffondersi esponenzialmente. Gli epidemiologi sanno che il solo modo di fermare sul serio un'epidemia è che il numero di Suscettibili diventi abbastanza basso da rendere poco probabile il contagio. Per esempio quando la popolazione è vaccinata. I vaccini ci fanno passare da Suscettibili a Recovered senza nemmeno attraversare la malattia. Ma non è il nostro caso per il momento. Il Covid-19 è per noi umani ancora troppo nuovo. È saltato da un pipistrello a qualche altro animale, forse un serpente, dove i due codici genetici si sono mescolati in maniera sfortunata, e da quel secondo ospite ha spiccato un altro salto, sull'uomo, con la stessa carica di novità di un'asteroide che fa precipitare sulla Terra un elemento chimico sconosciuto. Non abbiamo anticorpi efficaci e non abbiamo vaccini. Non abbiamo neppure statistica. Tradotto nel modello SIR, significa che siamo ancora tutti Suscettibili.

Domanda nel test di matematica: «Quanti



Scenari

Le azioni «esagerate» intraprese prima in Cina e ora da noi non si fondano su misure prese a spanne ma su scenari matematici

Big data

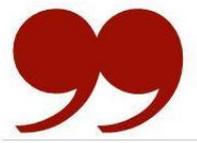
Per nutrire di realtà il modello vengono usati tutti i dati a disposizione: mappe della Nasa, rotte dei voli, informazioni su ogni interazione umana

Chi non crede al meteo?

È come con le previsioni del tempo, alzi la mano chi programmerebbe una gita al mare domani con il 90% di probabilità di un diluvio

Opinioni e fatti

È lecito supporre che la Cina freni l'economia per un male di stagione? Che Roma metta in quarantena intere aree per valutazioni errate?



I contagiati e le biglie

Immaginate delle biglie, la prima ne colpisce altre due, ognuna di queste fa lo stesso: è quella che viene definita crescita esponenziale

Le misure

Le misure «draconiane» e le nostre dolorose rinunce si riassumono in un'unica intenzione matematica: abbassare il numero dei contagiati

La reazione

Negli ultimi giorni si è aperta una faglia tra chi accetta quanto viene disposto e chi grida alla follia o assume atteggiamenti sprezzanti

Epoca di scettici

Lo scetticismo non dipende dal livello d'istruzione, dall'età, o dalla provenienza: è un tratto umano, molto in voga nella nostra epoca

sono oggi i Suscettibili al Covid-19?».

Risposta: «Un po' più di sette miliardi».

PREVISIONI DEL TEMPO

Un'altra aberrazione riguarda l'accanimento mediatico sul «paziente zero» in Italia. «Il paziente zero» è un titolo perfetto per una serie distopica di Netflix o per un film sugli zombie, e infatti esiste già. Ma il paziente zero italiano è d'interesse pressoché nullo per gli epidemiologi ormai da alcuni giorni. Da quel fantomatico punto d'origine si sono già diramate linee secondarie e terziarie, traiettorie silenziose del contagio, molte delle quali probabilmente latenti. A Firenze, in Liguria, in Germania, negli Stati Uniti, chissà dove.

E c'è, infine, l'algebra della pericolosità, anch'essa fuorviante. Dividendo il numero di morti per il numero dei contagi conclamati si

ottiene un risultato che non impressiona: zero virgola zero qualcosa. Tradotto: «Tanto non si muore!». I virologi si stanno seccando la gola nel ripeterci che il vero problema è un altro. Il tasso di ricoveri necessari per il Covid-19 è infatti piuttosto elevato. Se tutti o buona parte dei Suscettibili diventassero Infetti troppo velocemente, a ricevere un urto pericoloso sarebbe il nostro sistema sanitario. Non è scontato che avremmo le risorse necessarie per fronteggiare adeguatamente un'eventualità simile. Non è scontato che non andremmo in tilt.

Le azioni «esagerate» intraprese in Cina e adesso da noi si fondano su scenari che sono anch'essi matematici. Non su misure prese a spanne, non su impressioni vaghe o isterismi di massa. Alessandro Vespignani, che alla Northwestern University di Boston sviluppa questi scenari, mi ha detto: «È come con le previsioni del tempo». Alla base delle simulazioni c'è il semplice modello SIR che abbiamo descritto, ma la teoria viene applicata alla situazione effettiva del nostro pianeta, della nostra società. Per nutrire di realtà il modello vengono utilizzati tutti i dati a disposizione: le mappe satellitari della Nasa, le rotte dei voli e il numero dei rispettivi passeggeri, le informazioni su ogni interazione umana misurabile e perfino certi correttivi psicologici, come la paura, il panico, la cautela. Ecco un ambito in cui i **Big Data** servono a salvarci la vita. Le simulazioni, una volta lanciate, mostrano come l'epidemia si svilupperà nei giorni successivi entro certi margini di errore, se diverrà una pandemia o invece sparirà. Da quelle analisi procedono le decisioni dei governi. Alzi la mano, ora, chi non crede affatto alle previsioni del tempo, chi programmerebbe una gita al mare domani, sapendo che ilMeteo.it dà il 90% di probabilità di un diluvio.

SUSCETTIBILI E SOSPETTOSI

Ecco un fatto curioso: la diffusione di una notizia falsa è descritta bene dagli stessi modelli SIR che si usano per le epidemie. Anche rispetto a un'informazione errata ognuno di noi

appartiene a uno dei tre insiemi: i Suscettibili, gli Infetti oppure i Guariti. Peccato che abbiamo molta più difficoltà ad autocollocarci in

quello giusto. Spesso, poi, essere Suscettibili al falso equivale a essere Sospettosi verso il vero. La fatica di accettare che qualcosa di radicalmente nuovo, di «fuori dall'ordinario» stia accadendo è un altro tratto profondamente umano della nostra psiche.

Una forma di ritrosia verso l'inaspettato, verso lo sconcertante e soprattutto verso il complesso, ha fatto in modo che ci volessero decenni perché il cambiamento climatico fosse accettato da molti. In questo momento è in azione un meccanismo difensivo simile nei riguardi del coronavirus. Non abbiamo anticorpi contro Covid-19, ma ne abbiamo contro tutto ciò che ci sconcerta. È un paradosso del nostro tempo: mentre la realtà diventa sempre più complessa, noi diventiamo sempre più refrattari alla complessità.

E tuttavia, ciò che sta succedendo in questi giorni non è davvero inedito. «A Singapore il governo e gli ufficiali sanitari lavoravano insieme per impedire che l'infezione si diffondesse. Furono attuate misure draconiane non solo negli ospedali: quarantena obbligatoria per tutti i casi sospetti, multe e condanne per chi non rispettava l'isolamento, chiusura di un grande mercato, chiusura delle scuole, controlli periodici della temperatura a tutti i tassisti. In questo modo l'epidemia fu domata». Sembra che parli di oggi, invece David Quammen sta riportando quanto avvenuto nel 2003 con la Sars. Descrive misure identiche a quelle adottate nel Lodigiano con la sola differenza della severità delle sanzioni penali, perché il nostro sistema si basa sulla fiducia nei cittadini, sull'assioma della loro piena collaborazione.

Spillover, il libro di Quammen, meriterebbe un articolo a sé. Basti dire, qui, che è il modo migliore per comprendere le varie sfaccettature, la complessità per l'appunto, di questa epidemia. Per non viverla come una strana eccezione o un flagello divino. Per metterla in relazione ad altri disastri ecologici del nostro tempo, come la deforestazione, la cancellazione degli ecosistemi, la globalizzazione e il cambiamento climatico stesso. E per entrare, addirittura, nella mente del virus, decifrarne le strategie, intuire perché la specie umana sia diventata così golosa per ogni patogeno in circolazione. A volte *Spillover* fa paura, è vero, complice il pipistrello nero della copertina, e a volte fa addirittura sobbalzare, per esempio quando si domanda — era il 2012 — se il *Next Big One*, la prossima grande epidemia attesa dagli esperti, sarà causato da un virus e se comparirà «in un mercato cittadino della Cina meridionale». Preveggenza? No. Solo scienza. E un po' di storia. Strano che *Spillover* non sia esaurito sugli scaffali, come i gel antisettici e le mascherine.

DETTO IN SOLDONI

Alla mia professoressa di matematica del liceo piaceva usare un'espressione un po' antica, «detto in soldoni», quando voleva farci familiarizzare con un concetto nuovo. È un'espressione che per qualche ragione mi torna alla mente adesso. Detto in soldoni, la matematica del contagio c'insegna che il solo modo efficace di soffocare un'epidemia come quella in corso è di tenere la gente il più possibile separata. E che dovremmo, semmai, discutere su quanto le misure necessarie siano sostenibili nel medio termine, perché al momento, e in assenza di un vaccino, non ci sono elementi

La vicenda



● Paolo Giordano (foto), 37 anni, è scrittore e fisico. Nel 2008 ha vinto il premio Strega con il romanzo di esordio «La solitudine dei numeri primi»

● Dopo la laurea specialistica in fisica delle interazioni fondamentali all'Università di Torino, ha vinto una borsa di studio per il dottorato di ricerca in Fisica delle particelle alla Scuola di dottorato in Scienza e alta tecnologia dello stesso ateneo

● Ha scritto tre pubblicazioni scientifiche, uscite sul «Journal of High Energy Physics», sul «Journal of Physics: Conference Series» e su «Physics Letter B»

razionali per ipotizzare che la crisi sia breve.

Ai più coriacei, a chi non fosse ancora persuaso e continuasse a pensare che siamo di fronte a una reazione sproporzionata, possiamo proporre un ultimo, disperato argomento di buon senso. È davvero lecito supporre che un Paese come la Cina decida di tirare il freno a mano della propria economia per aver sopravvalutato un'influenza stagionale? Che un governo come il nostro decida di mettere in quarantena intere aree perché ha scambiato un virus pericoloso per qualcos'altro? Mi sembra che per supportarlo si debba essere dei Sospettosi eterni, dei complottisti incalliti. Oppure no, mi sbaglio. Dopotutto è sufficiente capovolgere una volta di più il ragionamento scientifico e, invece di trarre le proprie opinioni dai fatti, partire dalle proprie opinioni per ricavarne i fatti.

© RIPRODUZIONE RISERVATA



Un militare al posto di blocco dell'esercito al confine della zona rossa. La misura è stata presa per il contenimento dell'epidemia di coronavirus



Controlli Personale dell'aeroporto di Debrecen, in Ungheria, controlla i passeggeri in arrivo da Milano (Epa)

C'è un numero, diverso per ogni malattia, che si chiama «erre con zero» e indica le persone che, in media, ogni individuo infetto contagia: se quella cifra è inferiore a 1, la diffusione si arresta da sola

