

Dove va questo virus?

Come si diffondono le epidemie

di Nicola Perra



a. La diffusione di una malattia infettiva è un fenomeno strettamente connesso alla sfera biologica, medica, sociale e politica. La complessità emerge su più livelli che si influenzano l'un l'altro.

La pandemia di COVID-19, in corso ormai da più di due anni, ha stimolato un forte interesse dell'opinione pubblica nei confronti della trasmissione di patogeni. Come ormai è chiaro dagli infiniti dibattiti nei media e dalle varie misure messe in atto, la diffusione di una malattia infettiva comprende sfere ampie, diverse e connesse che si estendono da quelle biologiche e mediche, a quelle sociali e politiche. È un fenomeno emergente dalle interazioni, comportamenti e reazioni di animali, persone e istituzioni, e mutuato dalle caratteristiche socio-economiche e demografiche della popolazione, da quelle ambientali, e da quelle dell'agente

patogeno in questione. Le dinamiche in gioco sono tante, spesso non-lineari (variazioni in certe condizioni si ripercuotono in modo non proporzionale sui processi in gioco), adattive (le dinamiche sono interconnesse) e soggette al caso. La complessità quindi si annida e manifesta su più livelli e scale che interagiscono e si influenzano l'un l'altra. Uno dei livelli è sicuramente quello dei patogeni. Batteri, virus, funghi, parassiti sono le categorie più significative. La complessità in questa dimensione è evidente in tutti i processi molecolari, biologici ed evolutivi che portano all'emergenza, sviluppo e selezione dei

patogeni. Inoltre, è presente anche nelle dinamiche animali e ambientali. Spesso queste vedono l'intervento umano: agricoltura, allevamento, deforestazione, cambiamenti climatici sono esempi dei processi umani che possono influenzare l'arrivo di nuovi patogeni, l'adattamento di vecchi e portare alla nostra esposizione con questi agenti.

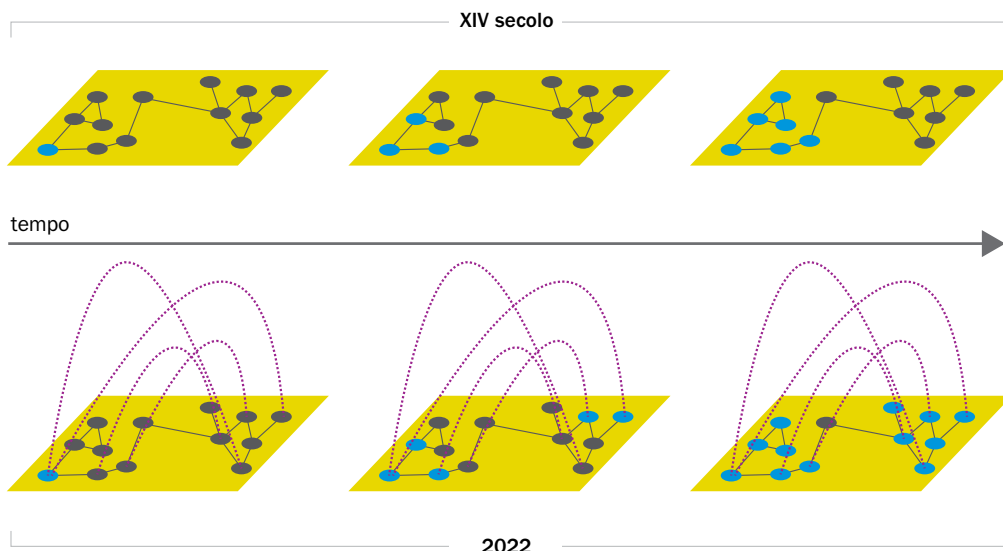
Un altro livello descrive le nostre interazioni sociali e i nostri movimenti. La tecnologia moderna permette di viaggiare oltre i confini nazionali in poche ore, di muoversi dentro le città in pochi minuti. La relativa prosperità economica e cooperazione tra comunità permettono una moltitudine di eventi e attività sociali. Siamo connessi come mai prima. Le caratteristiche della rete sociale che ci connette danno forma e influenzano la diffusione di malattie infettive. La peste nera nel XIV secolo impiegò diversi anni per passare dalle coste della Sicilia a quelle dell'Inghilterra. Le dispute tra popoli, i mezzi di trasporto, la dimensione molto ridotta degli aggregati cittadini sono fattori cruciali che portarono a una diffusione non solo lenta ma fortemente limitata dalla geografia. La peste nera si diffuse infatti come un'onda in uno stagno. Nel 2020, invece, il virus SARS-CoV-2, responsabile dell'epidemia di COVID-19, ha impiegato solo qualche mese per arrivare in tutta Europa. La diffusione è avvenuta in modo molto diverso da un fronte d'onda. Grazie alle

caratteristiche del sistema di trasporto moderno ha potuto saltare di città in città, da nazione a nazione. I confini e le distanze non sono stati un fattore limitante, il virus si è diffuso sopra la rete complessa emergente dalla miriade di nostre interazioni, movimenti e dinamiche che agiscono su diverse scale.

Vale forse la pena di descrivere, anche solo in modo stilizzato, alcune delle proprietà di questa rete. Il numero e la frequenza delle connessioni sono estremamente eterogenei. La struttura della rete vede comunità, molto connesse internamente a diverse scale, che vanno dal quartiere e città, a nazioni e continenti. Le connessioni sono correlate con fattori demografici, socio-economici e culturali. Infine, la rete evolve con dinamiche temporali che vanno da *trend* periodici (giorni feriali e festivi) a correlazioni che influiscono sull'ordine e successione dei contatti. Queste proprietà influenzano la diffusione di malattie infettive dando vita a dinamiche non-lineari. Per esempio, l'eterogeneità nella distribuzione del numero di connessioni può portare a eventi cosiddetti di "superdiffusione", dove un singolo individuo dà origine a moltissime catene di infezione e a un'esplosione di contagi. Un altro livello è rappresentato dalla natura adattiva umana. La circolazione di una malattia infettiva può indurre variazioni spontanee dei nostri comportamenti e/o spingere governi a intervenire con chiusure

di attività sociali. Questi cambiamenti influenzano la diffusione del patogeno, perché modificano la rete sociale su cui si propaga. I nostri comportamenti e le malattie infettive sono interconnessi e si influenzano l'un l'altro con dinamiche non-lineari. Come se non bastasse, la modifica comportamentale è dipendente da fattori demografici, politici, sociali, economici e psicologici. Età, visioni politiche, educazione, fiducia nella scienza, esposizione a disinformazione sui media influiscono sulla nostra percezione di pericolo e di suscettibilità al patogeno spingendoci, o meno, a variazioni di comportamento. Inoltre, forti differenze di status socio-economico introducono barriere alla capacità di modificare comportamenti anche durante un'emergenza. Un chiaro esempio di questo si è avuto durante la pandemia di COVID-19, in cui una grande parte della popolazione mondiale non ha potuto permettersi di lavorare a distanza o di accedere a cure mediche e vaccini. Queste disuguaglianze purtroppo continuano a causare mortalità molto più elevate in gruppi svantaggiati della popolazione. A questo punto studiare le epidemie potrebbe sembrare un problema intrattabile, una causa persa. Invece, abbiamo a nostra disposizione un arsenale di metodi matematici e computazionali. Questi vengono utilizzati per descrivere esplicitamente solo alcuni dei livelli descritti sopra. Per esempio, i

b. La figura schematizza la differenza tra la diffusione di un virus (indicato dal pallino azzurro) nel XIV secolo (sopra) e nel 2022 (sotto). I nodi descrivono le città, i link indicano le loro connessioni. Nel 2022 ci sono le connessioni a più lungo raggio tipiche della rete di trasporto moderna (in rosso). L'effetto è una dinamica di diffusione molto più veloce.



densità di popolazione



spostamenti per via aerea



spostamenti via terra



modelli epidemiologici che usiamo per caratterizzare la diffusione di patogeni in una popolazione non considerano i processi molecolari (che sono materia di altre discipline), ma solo i contagi nella rete sociale. Molte dinamiche e scale, quindi, sono nascoste e rappresentate da semplici parametri.

Esplorare il ruolo della complessità in epidemiologia ha permesso di compiere passi da gigante. I modelli epidemiologici più sofisticati sono ora in grado di prevedere l'evoluzione di una pandemia con settimane (tipicamente da 1 a 4) di anticipo, stimare il rischio di importazione internazionale di un nuovo patogeno, quantificare l'impatto di misure di contenimento, produrre scenari sul lungo periodo e molto di più. I progressi in questo campo sono legati anche alla rivoluzione digitale. Infatti, le tracce che lasciamo usando smartphone, app e computer

offrono opportunità, solo venti anni fa impensabili, di osservare e modellizzare le nostre interazioni, movimenti, reazioni e altre dinamiche come un vero e proprio fenomeno naturale. La stratificazione dei contatti sociali per classi di età, il flusso di viaggiatori tra quartieri, città o nazioni, le variazioni di mobilità dovute a restrizioni governative sono esempi di input usati nei modelli sviluppati per lo studio di COVID-19.

Nonostante il progresso, sono ancora molte le dinamiche che capiamo solo parzialmente. Il *feedback* che lega le epidemie con i cambi di comportamento è uno degli esempi più lampanti. La risposta all'emergenza COVID-19 in Italia, come nel resto del mondo, mostra chiaramente molte lacune. Progredire nella comprensione della complessità in questi fenomeni è cruciale per farci trovare più preparati alla prossima pandemia.

c. Esempio di schematizzazione di un modello epidemiologico. Alla struttura geografica, caratterizzata dalla distribuzione della popolazione, è possibile aggiungere le dinamiche degli spostamenti a lungo raggio (per via aerea) e di quelli a più corto raggio (via terra) tipici delle varie zone, permettendo così di descrivere e modellizzare la diffusione di una epidemia.

Biografia

Nicola Perrà è professore di matematica applicata dell'Università Queen Mary di Londra. La sua ricerca si focalizza sullo studio delle reti complesse, epidemiologia digitale e dinamiche sociali.

10.23801/asimmtrie.2022.32.9