

## FISICA PER TUTTI

### Modelli e realtà: il caso della pandemia COVID-19 (\*)

### Reality and models: the case of COVID-19 pandemic

Roberto Battiston

*Dipartimento di Fisica, Università di Trento,  
Via Sommarive 14, 38123 Povo (TN), Italia*

**Riassunto.** A quasi tre anni dall'inizio della pandemia COVID-19, in questo articolo discuto della matematica del virus, vale a dire gli strumenti che l'epidemiologia statistica da più di un secolo ha messo a disposizione per studiare lo sviluppo di un'epidemia. Strumenti potenti ma non sufficientemente utilizzati per anticipare le mosse della pandemia, in Italia come in altri paesi. L'impatto della pandemia sulla società è stato talmente forte da rendere periodicamente rilevante analisi basate invece su elementi qualitativi, politici o addirittura su pregiudizi ideologici, fermo restando che ogni volta è stato necessario ritornare sui propri passi travolti dallo svilupparsi della malattia. È importante discutere e riflettere sulla lezione di questi tre anni di COVID-19. Questa epidemia non è stata la prima e non sarà l'ultima, ed esistono problemi come i cambiamenti climatici che sono ancora più sfidanti per la società e possono essere affrontati solo sfruttando nel modo migliore gli strumenti che ci sono offerti dalla scienza. Come diceva Feynman: "La natura non può essere imbrogliata".

**Abstract.** Nearly three years after the start of the COVID-19 pandemic, in this article I discuss the mathematics of the virus, that is, the tools that statistical epidemiology for more than a century has made available to study the development of an epidemic. Powerful but underutilized tools for anticipating pandemic moves, in Italy as in other countries. The impact of the pandemic on society has been so strong that analyses based instead on qualitative, political or even ideological biases have periodically become relevant, with the understanding that each time it has been necessary to retrace one's steps as we became overwhelmed by the development of the disease. It is important to discuss and reflect on the lessons of these three years of COVID-19. This epidemic was not the first and will not be the last, and there are problems such as climate change that are even more challenging for society and can only be addressed by making the best use of the tools that science offers us. As Feynman said "Nature cannot be fooled".

*Tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili.*

George E. P. Box

(\*) Adattato dall'autore da "L'alfabeto della Natura" (Rizzoli) 2022.

A partire dagli inizi del 2020 la pandemia di COVID-19 ha colpito il mondo intero, causando ingentissimi danni materiali e umani. A oggi si contano oltre sei milioni di morti e probabilmente l'epidemia continuerà a lungo, soprattutto nei Paesi meno sviluppati, che non hanno ancora avuto accesso a un'adeguata quantità di vaccini.

È interessante analizzare il modo in cui è stata gestita la pandemia in quanto rappresenta una sorta di prova generale di come l'umanità riesca ad affrontare un problema globale, di per sé eminentemente scientifico —bloccare il propagarsi di un virus contagioso o sviluppare in tempi rapidi vaccini efficaci— ma con evidenti risvolti economici, politici, diplomatici, mediatici e culturali.

Il caso della pandemia di COVID-19 può quindi essere utile per illustrare la questione dell'alfabetizzazione scientifica delle nostre società.

La pandemia ha colto tutti di sorpresa. Eppure avevamo già avuto delle avvisaglie in tempi recenti. Nel 2003 si era sviluppata una prima epidemia di Coronavirus SARS, un virus con un tasso di mortalità dell'11%, e a partire dal 2012 erano emersi focolai di Coronavirus MERS, caratterizzato da una mortalità altissima, pari al 35%.

La SARS ha rappresentato il primo vero principio di pandemia che è stato possibile analizzare nei suoi dettagli grazie alla ricostruzione sistematica degli spostamenti delle persone coinvolte, attraverso il tracciamento dei contatti e dei biglietti aerei.

La SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*) si sviluppò nella provincia cinese del Guangdong nel novembre 2002; ma, nonostante le segnalazioni di casi sospetti di polmonite acuta, questa nuova malattia non ottenne l'attenzione internazionale fino al febbraio 2003, quando un americano, Johnny Chen, sviluppò i sintomi di una grave polmonite, nel corso di un viaggio dalla Cina a Singapore. Chen sbarcò ad Hanoi, dove morì dopo poco all'ospedale francese, non prima di aver contagiato molte persone dello staff medico.

Fu in quella occasione che Carlo Urbani, un noto medico italiano dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, identificò la presenza di un nuovo virus e avvertì immediatamente l'OMS della gravità della situazione, attivando una serie di azioni urgenti che hanno contribuito in modo determinante a contenere e poi spegnere l'epidemia. In particolare convinse il governo locale ad attivare subito limitazioni negli spostamenti e obblighi di quarantena, decisioni che hanno rallentato la diffusione del virus. Urbani, nelle settimane successive, fu contagiato e morì di SARS a quarantasei anni, il 29 marzo 2003, dopo diciotto giorni di terapia intensiva.

Nonostante già nell'aprile 2003 il genoma della SARS fosse stato decodificato, il vaccino non fu mai prodotto. L'epidemia, tra il 2003 e il 2004, aveva colpito solo 8096 persone in ventinove Paesi, di cui circa il 10% era deceduto. Numeri piccoli su scala globale, in particolare se confrontati con la pandemia di SARS-COV2 del 2019: questo spiega perché l'industria farmaceutica non abbia investito le risorse necessarie per sviluppare una cura.

L'epidemia di SARS —più della MERS, che a causa della sua fortissima mortalità ma scarsa contagiosità è rimasta confinata al Medio Oriente— sembra proprio la prova generale di quella di COVID-19.

Come il COVID-19 anche la SARS nasce in Cina, Paese immenso con abitudini alimentari e igieniche molto diverse dalle nostre e talvolta rischiose. La propagazione

del virus della SARS ha avuto luogo da un salto di specie che, partendo da un certo tipo di pipistrelli e passando attraverso la civetta [1, 2], è riuscito a contagiare i mammiferi e la specie umana per poi diffondersi a livello globale attraverso il sistema di trasporto aereo. L'epidemia si trasmette tramite l'aerosol e aggredisce, inizialmente, il sistema respiratorio.

Il sistema sanitario cinese all'inizio reagisce con lentezza, di conseguenza il problema non viene a galla nella sua gravità fino a che l'epidemia non coinvolge altri Paesi, a cominciare dal Vietnam.

Sembra lo stesso film che abbiamo visto a partire dalla fine del 2019. Come mai allora la pandemia di COVID-19 ci ha trovati così impreparati, se quindici anni prima la sirena di allarme aveva già suonato così forte?

Non è semplice rispondere a questa domanda senza passare attraverso la sequenza di decisioni umane, alcune errate o intempestive, altre rapide e coraggiose, addirittura eroiche, come nel caso di Carlo Urbani per la SARS o di Li Wenliang per la SARS-COV-2 o COVID-19, anche lui deceduto a causa del contagio. Medici che, insospettiti dall'insorgere di uno o più casi con caratteristiche anomale, non hanno esitato a lanciare l'allarme, a costo di scontrarsi con ostacoli di tipo politico, oltre che con i rischi di una malattia sconosciuta.

L'epidemia può essere paragonata a un incendio in una prateria in cui non piove da tempo. L'erba secca brucia facilmente, ma serve una scintilla a innescare il rogo, e anche così non è detto che si scateni un incendio. Il fuoco può rimanere circoscritto e dopo un po' spegnersi da solo. Ma in caso di vento le fiamme divampano rapidamente e non si riesce più a controllarle. Se poi raggiungono il bosco, anch'esso fortemente infiammabile a causa della lunga siccità, possono sviluppare una forza spaventosa.

Non ci vuole molto a capire che un incendio deve essere affrontato il prima possibile, che ogni minuto di ritardo può cambiare drasticamente il destino di un territorio, oltre all'ammontare dei danni e all'eventuale perdita di vite umane.

A differenza dell'incendio, il vettore dell'epidemia è invisibile: senza opportuni test individuali è impossibile percepire la presenza del virus o del batterio che trasporta il contagio.

Per questo motivo per combattere un'epidemia è necessario ricorrere alla scienza: solo gli strumenti e le conoscenze della medicina, della biologia, dell'epidemiologia, della matematica del contagio, ci possono permettere di capire quello che sta accadendo.

L'infezione si propaga investendo la popolazione, come un colpo di vento che penetra ovunque; gli infetti trasmettono il contagio senza rendersene conto, senza cioè aver ancora sviluppato i sintomi della malattia. In queste condizioni il virus può agire indisturbato, a fronte di condizioni di difesa minime o inesistenti, e diffondersi rapidamente. Quando un malato sviluppa sintomi per cui ha bisogno di un medico, è già tardi: con ogni probabilità nei tre-quattro giorni precedenti ha già contagiato molte persone, e se anche viene isolato in quarantena o in ospedale il grosso del danno è già stato fatto.

Come si reagisce a una pandemia? Come la si può contenere e sconfiggere?

La storia della pandemia di COVID-19, ci offre molti spunti su ciò che è più o meno opportuno fare.

Pensiamo alla matematica del virus, vale a dire le leggi che regolano lo sviluppo dell'epidemia. Queste leggi, formulate negli anni Venti da William Ogilvy Kermack e Anderson Grey McKendrick [3] e chiamate modelli compartimentali [4], si basano sulla seguente relazione fondamentale: “La quantità di nuovi infetti che si sviluppa in un dato istante è proporzionale al numero di infetti presenti nella popolazione moltiplicato per la frazione di persone contagiabili presenti nella popolazione stessa”.

Sono quattro le condizioni che quindi determinano l'andamento del numero degli infetti: la proporzionalità della variazione del numero di infetti rispetto al numero degli infetti presenti, i cosiddetti *infetti attivi*; la proporzionalità della variazione del numero di infetti rispetto al numero di persone che possono essere contagiate, chiamate *suscettibili*; il valore della costante di proporzionalità tra la variazione del numero di infetti e il numero di infetti presenti; infine le persone che guariscono/muiono e che contribuiscono via via alla diminuzione delle persone infette.

Il primo aspetto è forse il meno intuibile ma è quello che porta direttamente al concetto di esponenziale. Quando la variazione di una quantità è proporzionale alla quantità stessa, l'andamento nel tempo che ne deriva tende a crescere o calare tanto più velocemente quanto più è grande il coefficiente di proporzionalità. Se il coefficiente di proporzionalità è 2, la variazione in un certo intervallo di tempo, per esempio un giorno, sarà 2 moltiplicato per la quantità di infetti presenti. Questo fa sì che il giorno dopo il numero degli infetti triplichi ( $1+2$ ), che alla successiva variazione diventi 9 volte più grande ( $3+6$ ) e così via. Più tempo passa, più cresce il numero di contagiati e, insieme, la velocità di crescita.

Dopo un po' il ritmo di crescita diventa così rapido da saturare qualsiasi sistema di gestione sanitaria degli infetti. Si parla di tempo di raddoppio: se questo tempo vale una settimana, dopo dieci settimane il ritmo di crescita sarà aumentato di circa mille volte.

L'esponenziale, però, può anche calare. In questo caso il numero di infetti diminuisce e scende anche la velocità di decrescita: per arrivare allo zero ci vuole molto tempo, matematicamente un tempo infinito, in pratica parecchie settimane.

Il secondo elemento che determina la variazione del numero degli infetti è la quantità di soggetti presenti nella popolazione che possono essere contagiati. Questo numero cala quando una frazione crescente della popolazione è insensibile al contagio, in quanto immunizzata. Quando questa frazione arriva a un valore critico, chiamato immunità di gregge, l'epidemia si spegne, in quanto il virus non riesce più a passare da un individuo malato a uno non immunizzato a causa della scarsità di questi soggetti.

La costante di proporzionalità, terzo elemento che determina la variazione del numero degli infetti, dipende dalle condizioni medie in cui si sviluppano rapporti interpersonali che portano al contagio: la quantità di incontri, la probabilità di trasmissione, la durata del periodo in cui è possibile infettare altre persone. Le prime due quantità dipendono dalle misure di distanziamento sociale, la terza dalla variante e dal tipo di epidemia.

Il quarto elemento è il più intuitivo, in quanto consiste semplicemente nel sottrarre i casi “risolti” dal numero dei suscettibili.

Se siamo in grado di calcolare la variazione del numero di infetti nel tempo, possiamo studiare l’andamento dell’epidemia nel futuro: tecnicamente si tratta di risolvere un’equazione differenziale non lineare, calcolo alla portata di un qualsiasi software matematico. Al variare dei parametri che determinano il distanziamento sociale, la probabilità di contagio o la frazione di persone immunizzate, si può calcolare lo sviluppo esponenziale, più o meno veloce, in salita o in discesa, dell’epidemia. Il risultato del calcolo avrà una capacità predittiva più o meno accurata a seconda di quanto i parametri in questione siano noti o determinabili con una certa precisione.

I modelli compartimentali si chiamano così perché ogni individuo può essere associato a un compartimento che caratterizza il suo stato (sano e *Suscettibile*, *Infetto* e quindi contagioso, guarito o deceduto e quindi *Risolto*). Il flusso tra un compartimento e l’altro è da equazioni differenziali come quella appena descritta, risolte contemporaneamente.

L’evoluzione dell’epidemia si delinea quindi attraverso gli spostamenti della popolazione in esame tra i vari compartimenti,

$$\begin{array}{c} \boxed{S} \xrightarrow{r\beta I/N} \boxed{I} \xrightarrow{\gamma} \boxed{R}, \\ \frac{dS}{dt} = -r\beta S \frac{I}{N}, \\ \frac{dI}{dt} = r\beta S \frac{I}{N} - \gamma I, \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I, \end{array}$$

dove  $R$  sono le persone guarite o decedute, con  $N = S + I + R$ .

Le equazioni sopra riportate rappresentano il modello SIR (*Susceptible*, *Infect*, *Resolved*) [4], uno dei più semplici tra i modelli compartimentali, ma che contiene gli ingredienti di base per analizzare lo sviluppo di una epidemia.

Un parametro fondamentale che permette di descrivere lo sviluppo dell’epidemia è il numero di riproduzione  $R_0$ , vale a dire il numero medio di nuovi infetti indotti da ogni persona che è stata contagiata nel periodo in cui può contagiare:

$$\begin{aligned} R_0 &= r \times \beta \times \frac{1}{\gamma} = \frac{r\beta}{\gamma}, \\ (1) \quad R_e(t) &= \frac{r\beta}{\gamma} \frac{S(t)}{N}, \end{aligned}$$

dove  $R_0$  è il numero di riproduzione e  $R_e(t)$  la sua dipendenza temporale.

$R_0$  è collegato direttamente ai tre parametri presenti nelle equazioni SIR:  $r$ , il numero di contatti che in media un *infetto* può avere durante il tempo  $\gamma$  in cui è in grado di contagiare, con una probabilità  $\beta$ , le persone sane che incontra, i cosiddetti

*suscettibili*. I tre parametri dipendono dalle caratteristiche della malattia e dal contesto sociale. Ad esempio,  $\beta$  dipende dall'aggressività della malattia e dalle modalità con cui si trasmette tra una persona e l'altra ma anche dal fatto che siano o meno state messe in atto delle misure protettive (mascherine, distanziamento minimo etc.).  $\gamma$  dipende dall'andamento della fase contagiosa della malattia, che può iniziare prima che si manifestino gli effetti del virus e tipicamente termina quando la carica virale scende al di sotto di una certa soglia.  $r$  dipende dalla frequenza degli incontri, ed è influenzato da interventi restrittivi come il *lockdown* o il *green pass*. Per capire il significato di  $R_0$  possiamo immaginarci una comunità che abbia certe abitudini sociali e che non abbia messo in atto alcuna restrizione nei contatti (in questo modo  $r$  è fissato) e una data forma epidemica senza che siano state adottate protezioni o distanziamenti (in questo modo  $\beta$  e  $\gamma$  sono fissati). Dato un certo virus,  $R_0$  risulta quindi dipendente dalle abitudini sociali: paesi in cui gli incontri tra individui sono più frequenti vedranno, a fronte della stessa epidemia, una replicazione maggiore e una diffusione più rapida.

I fattori che determinano il numero di replicazione possono però cambiare nel tempo: attivare o eliminare limitazioni agli incontri interpersonali possono fare diminuire o aumentare in modo sostanziale  $r$ . La transizione a varianti più aggressive può fare aumentare  $\beta$  o fare cambiare  $\gamma$ . L'introduzione di misure protettive (mascherine, pulizia, distanziamento sociale), fa certamente diminuire  $\beta$ . La dipendenza dal tempo del numero riproduttivo è descritto dalla equazione (1), in cui è esplicitata anche la dipendenza temporale della frazione di *suscettibili*,  $S(t)$ , rispetto al numero totale degli individui. Questa frazione dipende dalle guarigioni, dai decessi e, soprattutto, dalla vaccinazione, fattori che, dal punto di vista del virus, rendono invisibile una frazione della popolazione che non può più ammalarsi.

$R_e(t)$  è il parametro che detta il ritmo di crescita o decrescita dell'epidemia, numero che ha scandito il ritmo di miliardi di persone nel corso degli ultimi anni: esso, in linea di principio, potrebbe essere calcolato e modellato. In realtà, variazioni continue delle condizioni sociali ed epidemiche fanno sì che sia molto difficile determinarlo a priori, se non misurandolo direttamente sui dati epidemici misurati nel corso del tempo.

Esistono vari modi di derivare  $R_e(t)$  dai dati [5–8] ma è interessante osservare come nel modello SIR, da un punto di vista matematico  $R_e(t)$  sia direttamente collegato alla derivata logaritmica del numero degli infetti nel tempo [9]

$$\frac{1}{\gamma} \frac{d \ln I(t)}{dt} = R_e(t) - 1.$$

È opportuno osservare, infine, che esistono versioni molto sofisticate di modelli compartimentali [10] in grado di analizzare in dettaglio l'andamento temporale dei più vari aspetti della diffusione del contagio: naturalmente, più un modello è complesso, più la sua accuratezza dipende dalla qualità dei dati ingresso. Ad un certo punto, però, la qualità dei dati domina sulla accuratezza del modello e non risulta più vantaggioso utilizzare modelli molto sofisticati.

Per gli scopi della discussione presentata in questo articolo, è quindi sufficiente analizzare i dati con il modello SIR.

Come può aiutarci la matematica del virus a interpretare la realtà dei numeri e definire le politiche di intervento sanitario? Prendiamo spunto da quello che è successo in Italia: si tratta di uno straordinario esperimento che ci permette di capire molte cose sul rapporto fra la società e una pandemia [11].

L'inizio dell'epidemia di COVID-19 nel nostro Paese è collegato a due focolai che si sono sviluppati a fine febbraio 2020, il primo a Codogno in Lombardia e il secondo a Vo' Euganeo in Veneto.

Nonostante in Cina il COVID-19 fosse esploso già un mese prima e fossero arrivate notizie molto dettagliate e preoccupanti, le misure prese inizialmente nel nostro Paese furono inadeguate.

Non fu attuato un serio controllo delle persone provenienti dalla Cina: il blocco dei voli diretti non impedì l'ingresso in Italia via nave, treno o auto di persone che avevano avuto contatti con cinesi provenienti dall'area di Wuhan. L'epidemia a Codogno si diffuse in un ospedale in cui un paziente infetto contagiò numerose persone anche tra il personale medico [12]. Allora non erano previste particolari procedure per evitare la propagazione di virus in un contesto così critico come un pronto soccorso di un ospedale.

Nel caso di Vo' Euganeo furono subito prese misure di isolamento totale degli infetti. Non fu però possibile attivare un tracciamento adeguato dei contatti dei contagiati, in modo da ricostruire e isolare tutta la catena del contagio.

In poche settimane l'epidemia si diffuse rapidamente nel nord Italia, senza serie misure di contenimento e con valori di riproduzione di base che raggiunsero e superarono 4: ogni infetto riusciva a contagiare più di quattro persone, provocando una crescita esponenziale molto rapida. Il numero di infetti, all'inizio, era basso, ma con un tasso di crescita che raddoppiava ogni pochi giorni. Questa situazione spinse il governo a una decisione drastica, vale a dire il lockdown nazionale a partire dal 13 marzo. Una misura estrema che la Cina aveva già adottato il 23 gennaio, tredici giorni dopo la registrazione della prima morte da COVID-19. In Italia il lockdown generale fu deciso l'8 marzo, quando il numero di morti era già arrivato a 233.

Grazie a questa decisione l'epidemia rallentò e giunse quasi a spegnersi, sia pure con i tempi propri di un processo infettivo, molte settimane. La crescita del numero di *infetti attivi* raggiunse il massimo ad aprile, per poi scendere in modo sostanziale nei mesi successivi, fino alla prima metà di giugno, quando fu decretata la fine del lock-down. Tuttavia non fu sufficiente a limitare il numero di morti, che, al termine della prima ondata, furono quasi 36 000 [13].

La prima ondata della pandemia di COVID-19 è stata quindi caratterizzata da impreparazione ed errori, ma anche da azioni efficaci da un punto di vista epidemiologico: le misure emergenziali sono riuscite a contenere gli effetti di una pandemia in rapidissimo sviluppo e a riportare sotto controllo la situazione sanitaria, sia pure al costo di un elevatissimo numero di morti.

Si poteva fare meglio? Con il senno di poi quasi certamente sì. Il fatto che l'epidemia in Cina fosse cominciata circa un mese e mezzo prima rispetto all'Italia

avrebbe dovuto darci la possibilità di agire con maggiore tempestività, per esempio nella definizione di protocolli anti-COVID da applicare nelle aree critiche come quelle ospedaliere. Anche il lockdown si sarebbe potuto decidere con almeno una settimana di anticipo. Esitazioni e ritardi che hanno permesso una maggiore diffusione della malattia, con gli effetti che conosciamo in termini di decessi e di casi gravi, con conseguenze di lungo periodo.

Alla fine del lockdown, il numero degli infetti ha continuato a diminuire, fino a raggiungere un valore costante, pari a circa 15 000 casi tra la fine di giugno e l'inizio di luglio 2020. Analizzando questo andamento con un semplice modello epidemiologico compartimentale, sarebbe stato possibile rilevare che erano presenti due effetti concomitanti: il calo degli infetti legati al processo epidemico iniziale, e la crescita di infetti dovuta a nuovi focolai. La somma dei due dava un numero costante di infetti e l' $R(t)$  aveva quindi di nuovo raggiunto 1, il valore epidemico, e lo stava superando.

Già a luglio risultava chiaramente dai numeri che l'epidemia stava cercando di ripartire, dato che è stato ampiamente sottovalutato. L'estate 2020 infatti, da un punto di vista epidemico, è stata caratterizzata da un  $R(t)$  sempre maggiore a 1, con picchi fino a 3 in alcune regioni, per esempio in Sardegna a causa della frequentazione delle discoteche, e nelle regioni più turistiche, con un rapido aumento nella settimana di Ferragosto. Ma siccome alla fine del lockdown il virus circolava molto meno che a marzo, i brevi periodi di crescita, limitata ad alcune zone turistiche, non erano sufficienti a creare focolai che si mantenessero a lungo.

Grazie anche alla stagione calda, che consentiva uno stile di vita all'aperto, ai primi di settembre l' $R(t)$  era in lenta decrescita, sia pure attestato ancora sopra l'1 a livello nazionale.

Poi, all'inizio di ottobre 2020, è partita rapidissima la seconda ondata epidemica.

Se nel febbraio-marzo 2020, il governo, sottoposto al fortissimo stress di un'emergenza sanitaria imprevista, ha reagito tutto sommato in modo tempestivo, gli errori e le occasioni perse nel corso dell'estate 2020 sono stati molteplici, e hanno avuto conseguenze drammatiche. In questo caso, avendo avuto il tempo e la possibilità di mettere in atto provvedimenti fondamentali per contrastare la malattia, vi sono molte meno scusanti per non avere attivato: l'utilizzo sistematico di mezzi di protezione e distanziamento, la gestione di dati e database aggiornati e affidabili, l'impiego di modelli previsionali accurati, la capacità di tracciamento dei contatti degli infetti, l'adeguamento del trattamento dell'aria negli spazi scolastici e nei trasporti, la protezione del personale medico e dei lavoratori esposti a rischi particolari di contagio.

Invece l'estate 2020 passò nell'illusione di aver sconfitto la malattia, anche se era chiaro, da quello che accadeva nel resto del mondo, che così non fosse. L'uso della mascherina all'aperto e al chiuso non fu reso obbligatorio: l'OMS ebbe moltissime esitazioni in questo senso, un comportamento davvero incomprensibile da parte di un'organizzazione così importante.

Il sistema pubblico di raccolta dati, attivato a febbraio in condizioni emergenziali dalla Protezione civile [13], rimase privo di ogni valore legale per tutta la durata della pandemia, al punto che molte regioni aggiornavano i dati con ritardi anche di molte settimane. L'attività di tracciamento, essenziale per contrastare l'epidemia,



fu affidata alle singole regioni e rimase sostanzialmente sguarnita di personale. Agli inizi dell'estate 2020 il numero di persone ufficialmente dedicate a questa mansione si contava nell'ordine delle decine, nulla di paragonabile alle circa 14 000 impiegate a Wuhan.

Per quanto riguarda le scuole, furono destinate risorse ingentissime per la realizzazione di banchi con le rotelle da posizionare a un metro di distanza l'uno dall'altro, ma non fu fatto nulla per garantire un ricambio d'aria adeguato nelle classi e pochissimo per gestire gli assembramenti sui trasporti. La riapertura delle scuole intorno a metà settembre rimise in circolazione, da un giorno all'altro, 9 milioni tra studenti e insegnanti, portando contatti infettivi all'interno delle famiglie e dalle famiglie alla scuola.

Non stupisce che, considerate le misure di contenimento praticamente inesistenti, dopo dieci-quindici giorni, il tempo necessario per fare emergere i contagi, la pandemia sia ripresa a una velocità altissima: dai 50 000 *infetti attivi* del 30 settembre siamo arrivati agli 800 000 di fine novembre, un aumento di sedici volte in due mesi.

Stupisce invece come il rischio connesso alla riapertura scolastica sia stato così sottovalutato dal governo, convinto in modo ideologico che la scuola fosse un luogo sicuro, senza però mai condividere i dati su cui basava le proprie convinzioni. Grazie a una grossolana sottovalutazione dei rischi ci siamo trovati in piena seconda ondata, con lo stesso virus ma senza nessuna nuova forma di protezione, e con la volontà politica di non riproporre un lockdown totale.

Dal punto di vista epidemiologico la seconda ondata ha raggiunto un'intensità massima di circa il 20% maggiore della prima, valore dedotto dall'occupazione degli ospedali e delle terapie intensive.

Già a fine novembre, ai 36 000 decessi della prima ondata se ne erano aggiunti circa 21 000 della seconda, per un totale di 57 000.

La gestione della seconda ondata è stata particolarmente irrazionale, stretta tra i diktat politici e gli effetti mal condotti dell'enorme diffusione del virus. Non potendo attivare, per ragioni economiche e politiche, un secondo lockdown, la serie di DPCM che presero il via il 12 ottobre 2020 introdussero nuove regole di distanziamento sociale tra cui (finalmente!) l'obbligo della mascherina in pubblico, la chiusura di una serie di attività commerciali e dei ristoranti nella fascia serale, la colorazione delle regioni in base all' $R(t)$  e all'incidenza settimanale/100 000 abitanti, obblighi di DaD (Didattica a Distanza) limitati a certe classi scolastiche e così via.

Alcune di queste misure si sono rivelate molto utili, come l'uso delle mascherine o i limiti imposti alle regioni che ricadevano nella fascia rossa. Altre invece molto approssimative o addirittura inutili, come la definizione delle altre fasce di colore delle regioni e, soprattutto, la loro introduzione tardiva rispetto all'andamento dell'epidemia. Infatti solo quando le regioni sono rimaste rosse per un periodo di varie settimane si è visto un beneficio dal punto di vista del contenimento del contagio e l'abbassamento di  $R(t)$ , cosa che invece non si è verificata con il colore arancio o giallo.

Nel corso di almeno sei mesi la prevalenza, numero di *infetti attivi* presenti nel territorio, dovuta alla seconda ondata rimase a valori elevatissimi, sostenuta dalle

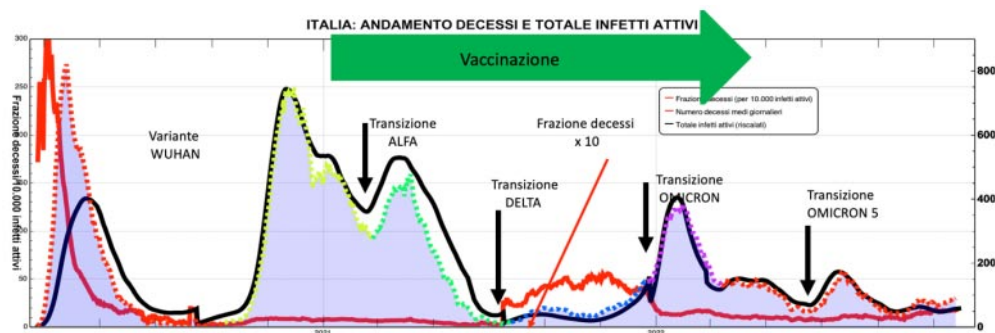


Fig. 1. – Andamento complessivo dell'epidemia COVID-19 in Italia. Legenda: ascissa, data a partire dal 24 febbraio 2020, ordinata sinistra frazione di decessi per 10.000 infetti attivi, ordinata destra numero medio di decessi giornalieri. Linea rossa tratteggiata, numero di decessi quotidiano; linea nera, numero degli infetti attivi, linea tratteggiata mortalità. La linea nera è stata rinormalizzata a metà 2020 e a metà 2021 per adattarla all'andamento della linea rossa tratteggiata. La linea rossa è stata moltiplicata per 10 a partire da metà del 2021.

incerte azioni di contenimento, a parte naturalmente la vaccinazione che da gennaio 2021 era diventata disponibile. Nel periodo che va dal 1° dicembre 2020 al 30 maggio 2021 il numero di morti è passato da 57.000 a circa 127.000, una crescita di 70.000 unità in 180 giorni, al ritmo medio di 388 morti al giorno: un numero spaventoso, che non accennava a diminuire o che diminuiva troppo lentamente.

La discussione politica in quel periodo aveva preso il sopravvento sulle considerazioni di carattere sanitario, con l'obiettivo principale di ridurre le limitazioni ancora in atto, riaprendo ristoranti, stadi e luoghi di cultura, diminuendo la DaD, limitando l'obbligo delle mascherine e così via. Alcuni partiti, in gara per accaparrarsi l'attenzione dell'opinione pubblica, cercavano di dimostrare che opponendosi alle politiche governative facevano l'interesse del Paese. In quella fase quasi nessuna delle richieste di quei partiti fu accolta dal governo, ma la continua discussione e tensione ha impedito di attivare processi di contenimento efficaci che avessero coerenza e durata nel tempo. A parte, ripetiamo, il piano vaccinale, senza il quale l'Italia si troverebbe ora in una situazione assai peggiore. Il vaccino, giorno dopo giorno, ha tolto dalla platea nazionale di persone esposte al rischio di contagio la frazione crescente di vaccinati. Così il virus è stato via via spinto in un angolo.

La fig. 1 illustra l'andamento complessivo dell'epidemia COVID-19 in Italia, mostrando allo stesso tempo l'andamento dei decessi giornalieri imputati al COVID-19 (media mobile settimanale), il numero di *infetti attivi* scalato per farlo corrispondere al numero di decessi all'inizio di ogni transizione verso una nuova variante, ed il rapporto tra queste due quantità. Come si può vedere l'andamento del numero medio di decessi è segue di circa una settimana l'andamento degli *infetti attivi*, che mostra un picco ogni volta che c'è una transizione verso una nuova variante. Osserviamo una significativa eccezione a questo andamento, come nel caso della prima ondata che ha portato al lock-down; in quel caso il numero dei decessi ha un andamento che anticipa il numero degli *infetti attivi*, chiaro indice di una situazione di emergenza in cui il

TABELLA I. – Decessi nelle varie fasi dell'epidemia (vedi fig. 1).

Fase epidemica	Decessi
Wuhan “prima ondata”	35660
Wuhan “seconda ondata”	61811
Variante Alpha	30830
Variante Delta	8497
Variante Omicron	19687
Variante Omicron B	20009
TOTALE (al 9-9-2022)	176497

tracciamento degli infetti lasciava molto a desiderare, mentre il numero dei decessi illustrava efficacemente la velocità con cui il virus si stava diffondendo all'interno di una popolazione non protetta (prima del lock-down).

L'area di colore viola rappresenta il numero di decessi totali alla data in esame. È interessante analizzare il numero di decessi nel corso delle varie fasi dell'epidemia come riportato nella tabella I.

La fase in cui ci sono stati più decessi è la seconda ondata, che è durata dall'ottobre 2020 al marzo 2021, 6 mesi durante i quali il numero di *infetti attivi* è rimasto sempre molto alto, intorno a 500 000 unità, per molto tempo, in presenza di una variante molto aggressiva senza che il vaccino avesse ancora raggiunto un numero sufficiente di persone. In confronto la variante delta ha colpito il nostro paese quando la vaccinazione era già molto avanzata e partendo da una prevalenza, numero di *infetti attivi*, che era scesa a valori minimi.

Un ulteriore strumento di contenimento è stato l'introduzione del *green pass*, il passaporto vaccinale, pensato per permettere ai vaccinati o a chi fosse in possesso di un tampone negativo recente di rientrare al lavoro, di riprendere una vita sociale normale e allo stesso tempo di proteggere i non vaccinati. Anche in questo caso il dibattito politico ha visto alcuni partiti impegnati a fomentare e cavalcare una piazza di scontenti e no vax, mostrando grande insensibilità nei confronti del bene comune. Il fatto che in Italia abbia prevalso la ragionevolezza non significa che lo stesso sia avvenuto in ogni parte del mondo.

La gestione simultanea della pandemia in tutti i paesi del mondo ci fornisce una quantità di dati enorme che permettono di confrontare la validità e la tempestività degli interventi messi in atto, specialmente prima che iniziasse la somministrazione massiccia dei vaccini.

Alcuni paesi, specie in estremo oriente, hanno saputo tenere a lungo sotto controllo la pandemia, attivando da subito controlli e restrizioni molto rigidi ma proprio per

questo più consoni alla cultura e ai governi locali di quanto non sarebbe stato possibile fare nei paesi occidentali.

Nella comunità europea il comportamento dei vari paesi è stato abbastanza confrontabile, sia pure con alcune situazioni estreme. Praticamente in tutti i paesi vi sono state periodiche esplosioni di contagio, ogni volta che non venivano applicate le regole di comportamento suggerite dall'andamento dell'epidemia e si prendevano decisioni non basate sui dati sanitari, sulla matematica del virus, appunto. Si è trattato di situazioni anche estreme, come ad esempio il secondo lockdown in Inghilterra, l'altissimo numero di morti registrati in Bulgaria a fronte di un basso livello di vaccinazione, oppure, in Austria, la decisione di rendere obbligatorio il vaccino dopo un periodo di fortissima diffusione della pandemia. Si può affermare, in generale, che nella maggior parte dei paesi, Italia inclusa, l'azione politica ha troppo spesso teso ad inseguire il virus invece di anticiparne gli effetti, con conseguenze molto pesanti sul numero di decessi e sulla saturazione dei sistemi sanitari, con gravi ricadute sugli altri tipi di malattie. Per cui, in generale, è il COVID che ha dettato i suoi tempi invece delle società che pure avevano a disposizione gli strumenti di analisi per mettere in atto interventi efficaci e tempestivi. Fortunatamente il vaccino è stato sviluppato in meno di un anno e questo ha cambiato l'andamento complessivo della pandemia, sia pure in modo diverso nei diversi paesi e a fronte di un costo in termini di vite umane che poteva certamente essere minore.

Il perverso effetto che la politica può avere sull'andamento di una pandemia è ben rappresentato da uno studio americano che ha mostrato come il tasso di morti per 100 000 persone sia stato nettamente più alto nelle contee rosse, quelle che votano repubblicano, rispetto a quelle blu, a maggioranza democratica [14]. Un clamoroso esempio di come la politica possa influenzare l'opinione di milioni di persone anche su questioni di carattere prettamente scientifico, come la vaccinazione o la necessità del distanziamento sociale, mettendo a repentaglio valori essenziali come la vita stessa degli individui.

Sebbene questo esempio di propaganda politica non sia certamente il primo, colpisce la misura antiscientifica del fenomeno e la relativa facilità con cui certi messaggi siano stati assorbiti da una parte della popolazione.

In conclusione, la dimensione politica e mediatica della pandemia COVID-19 rappresenta un interessantissimo banco di prova per altre questioni di carattere globale e dal forte contenuto scientifico che necessitano, per essere risolte, di un forte impegno collettivo.

L'esperienza della COVID-19 deve farci riflettere su quanto costi alle nostre società cedere alla resistibile tentazione di cercare di imbrogliare le carte della natura, dimenticando la lezione del grande Galileo Galilei.

Questo tema meriterebbe ben altro approfondimento. I ritardi, le esitazioni e i fallimenti nelle decisioni, riguardo la gestione della pandemia, infatti, si sono trasformati in danni enormi, in termini economici e di vite umane. Lo stesso sta accadendo e potrà accadere in futuro con i cambiamenti climatici. La scala è diversa, ma le problematiche sono simili.

## Bibliografia

- [1] LI W., SHI Z., YU M. *et al.*, “Bats are natural reservoirs of SARS-like coronaviruses”, *Science*, **310** (2005) 676, DOI:10.1126/science.1118391.
- [2] LAU S. K., WOO P. C., LI K. S. *et al.*, “Severe acute respiratory syndrome coronavirus-like virus in Chinese horseshoe bats”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **102** (2005) 14040, DOI:10.1073/pnas.0506735102.
- [3] William Ogilvy Kermack, Anderson Grey McKendrick, “A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics”, *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, **115** (1927) 700.
- [4] DIEKMANN O., HEESTERBEEK H. e BRITTON T., *Mathematical Tools for Understanding Infectious Disease Dynamics, Princeton Series in Theoretical and Computational Biology* (Princeton University Press, Princeton) 2013.
- [5] BETTENCOURT L. M. e RIBEIRO R. M., “Real time Bayesian estimation of the epidemic potential of emerging infectious diseases”, *PLoS One*, **3** (2008) e2185.
- [6] CINTRON-ARIAS A., CASTILLO-CHAVEZ C., BETTENCOURT L. M., *et al.*, “The estimation of the effective reproductive number from disease outbreak data”, *Math. Biosci. Eng.*, **6** (2009) 261.
- [7] HOWARD S. C. e DONNELLY C. A., “Estimation of a time-varying force of infection and basic reproduction number with application to an outbreak of classical swine fever”, *J. Epidemiol. Biostat.*, **5** (2000) 161.
- [8] CORI A., FERGUSON N. M., FRASER C. e CAUCHEMEZ S., “A new framework and software to estimate time-varying reproduction numbers during epidemics”, *Am. J. Epidemiol.* **178** (2013) 1505, DOI:10.1093/aje/kwt133t.
- [9] <https://www.scienzainrete.it/articolo/modo-sempllice-calcolare-rt/roberto-battiston/2020-11-20>.
- [10] GIORDANO G. *et al.*, “Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy”, *Nature Medicine*, **26** (2020) 855.
- [11] “COVID: il ritmo del contagio sta crescendo”, *Huffington Post*, 2 agosto 2020; “COVID: un esercito di asintomatici non identificati in giro per l'Italia”, *Huffington Post*, 5 agosto 2020; “La curva va corretta adesso o a ottobre isolati in 50mila”, *il Giornale*, 28 agosto 2020; “Al Sud i nuovi casi in crescita velocissima. Gli ospedali lombardi ora senza problemi”, *il Giornale*, 11 ottobre 2020; “La curva dei contagi sale, gli indizi puntano verso gli studenti”, *Huffington Post*, 21 ottobre 2020; “Una tempesta perfetta”, *Huffington Post*, 24 ottobre 2020; “I dati dicono che è urgente passare alla didattica a distanza”, *Corriere della Sera*, 24 ottobre 2020; “Per le scuole riaperte 30 milioni di contatti. L'ondata di ottobre spiegata dai numeri”, *la Repubblica*, 3 novembre 2020; “Il picco dell'epidemia? Il 27 novembre”, *la Repubblica*, 12 novembre 2020. Altri interventi più recenti sono disponibili al link: [www.robertobattiston.it/press](http://www.robertobattiston.it/press).
- [12] CEREDA D., TIRANI M., ROVIDA F., DEMICHELI V., AJELLI M., POLETTI P., TRENTINI F., GUZZETTA G., MARZIANO V., BARONE A., MAGONI M., DEANDREA S., DIURNO G., LOMBARDO M., FACCINI M., PAN A., BRUNO R., PARIANI E., GRASSELLI G., PIATTI A., GRAMEGNA M., BALDANTI F., MELEGARO A. e MERLER S., “The early phase of the COVID-19 outbreak in Lombardy, Italy”, *Epidemics*, **37** (2021) 100528. DOI:10.1016/j.epidem.2021.100528, Epub 2021, Nov. 20.
- [13] MORETTINI M., SBROLLINI A., MARCANTONI I. e BURATTINI L., “COVID-19 in Italy: Dataset of the Italian Civil Protection Department”, *Data in Brief*, **30** (2020) 105526.
- [14] Red Covid, *New York Times*, 27 settembre 2021; DAVID LEONHARDT, “Covid Deaths Get Even Redder”, *New York Times*, 8 novembre 2021.