

# Un simulatore epidemiologico

## Specifiche del progetto

Implementare in Java un *simulatore epidemiologico* che consenta di valutare e mettere a confronto gli esiti di diverse strategie nella gestione di una epidemia. Il modello della realtà da simulare comprende un aspetto *generale* o economico, che descrive la dinamica di produzione e consumo delle risorse da parte della popolazione, un aspetto *sanitario*, ovvero il modello della malattia, ed uno *politico*, che riguarda le strategie per la gestione dell'epidemia. Lo scopo principale del progetto è non tanto la messa a punto degli aspetti economici e sanitari del modello (che sono già descritti a grandi linee da queste specifiche), quanto fornire uno strumento di analisi di diverse strategie politiche al variare di alcuni parametri specificati di seguito.

Si richiede la consegna di *un programma funzionante*, scritto in Java, accompagnato da *uno o più casi studio*, anche semplici, che ne mettano in luce gli aspetti più significativi. Sono consentite semplificazioni del modello o “variazioni sul tema”, auspicabilmente ben motivate. Scelte progettuali, implementative e casi studio andranno discusse in *una breve relazione*, alla quale andrà allegato il sorgente Java, estesamente corredato di commenti. È possibile, ma non necessario, corredare il sistema di un'interfaccia grafica che consenta di visualizzare l'evoluzione dell'epidemia mediante un'animazione; potete, ad esempio, ispirarvi alle animazioni che trovate qui:

<https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator>

(cliccare su *browse now* per un accesso gratis).

## 1 Aspetti generali

Parametri generali:

- **Popolazione iniziale (P)**, il *numero* di individui esistenti all'inizio della simulazione;
- **Risorse iniziali (R)**, la quantità di risorse inizialmente disponibili;
- **Costo delle cure (C)**, il costo della somministrazione di un tampone;
- **Velocità (V)**, il numero medio di incontri che ciascun individuo in movimento ha nel corso di una giornata.

Il tempo è scandito dai *giorni*. Lo spazio è popolato di *individui*, che vivono per sempre, a meno che non muoiano di malattia. All'inizio del tempo la popolazione ha a disposizione una quantità  $R$  di risorse collettive.

In ciascun giorno della sua vita un individuo può trovarsi in uno fra due stati: *fermo* o *in movimento*. Il movimento dà luogo ad *incontri*. Il numero medio di incontri che ciascun individuo in movimento ha nel corso di una giornata è indicato con  $V$  (per velocità), ed è un parametro della simulazione. Due individui fermi non si incontrano.

Ogni giorno ciascun individuo, che stia fermo o in movimento, consuma una unità delle risorse. In un giorno *di movimento* un individuo aggiunge una unità alle risorse collettive. Dunque, se tutti gli individui sono in movimento, la quantità complessiva delle risorse rimane costante.

Ciascun individuo può assumere cinque colorazioni diverse: *verde*, che rappresenta un individuo sano o con carica batterica non rilevabile e comunque non contagioso, *giallo*, che indica un individuo contagioso ma asintomatico, *rosso* un individuo sintomatico, *blu* un individuo guarito e *nero* un individuo morto. Sintomatici e morti non possono muoversi.

È possibile sottoporre gli individui ad un test, chiamato *tampone*, che risulta negativo per verdi e blu, positivo per tutti gli altri. Un sintomatico è evidentemente contagioso, senza bisogno di fare il tampone per scoprirlo. La somministrazione di un tampone ha un costo  $C$ , che è un parametro della simulazione. Ad ogni malato sintomatico vengono fornite cure mediche. Il costo *giornaliero* delle cure somministrate a ciascuno di essi è  $3C$ , tre volte quello di un tampone.  $P$ ,  $R$  e  $C$  sono legate come segue:

$$R < P * C.$$

All'inizio del tempo tutti gli individui sono in movimento, e sono tutti sani tranne uno che è giallo.

## 2 Aspetti sanitari

Parametri sanitari:

- **Infettività** ( $I$ ), la probabilità (maggiore di 0) che un individuo sano venga infettato a seguito di un incontro con un contagiato asintomatico o sintomatico;
- **Sintomaticità** ( $S$ ), la probabilità (maggiore di 0) che un contagiato sviluppi sintomi;
- **Letalità** ( $L$ ), la probabilità (maggiore di 0) che un malato sintomatico muoia;
- **Durata** ( $D$ ), il numero di giorni che intercorrono fra il momento del contagio e quello della guarigione.

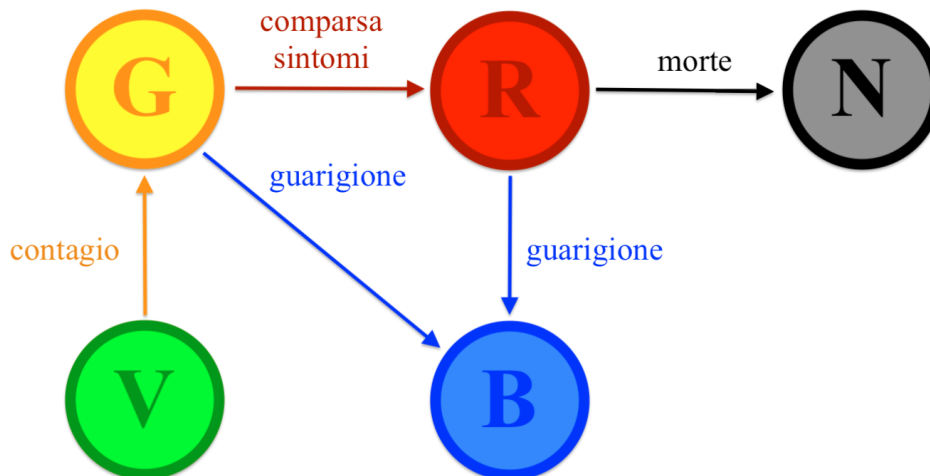


Figura 1: transizioni di colore.

La colorazione di un individuo può cambiare secondo lo schema riportato in Figura 1. Si assume che i guariti (blu) siano immuni, e che mantengano l'immunità per sempre. Dato che si muore solo di malattia, i guariti sono immortali!

Un individuo sano *può* essere contagiato (solo) come conseguenza di un incontro con un individuo contagioso, sia esso asintomatico (giallo) o sintomatico (rosso). La probabilità che l'incontro dia luogo al contagio, indicata con  $I$ , è uno dei parametri del simulatore. Dall'evento del contagio (l'incontro) al momento in cui l'individuo diventa contagioso (quando il suo colore cambia da verde a giallo) trascorre un tempo *di incubazione*, nel quale l'individuo risulta ancora negativo al tampone.

Un individuo contagiato è inizialmente asintomatico. Nel corso della malattia potrà diventare sintomatico (rosso) con probabilità  $S$ , che è uno dei parametri della simulazione. Un individuo sintomatico potrà aggravarsi e morire con probabilità  $L$ , anch'essa parametro (il termine “letalità” è usato qui impropriamente, indicando nella realtà il rapporto fra morti e contagiati).

La malattia ha una sua *durata*, indicata con  $D$ , ovvero il numero di giorni che intercorrono fra il momento del contagio e quello della guarigione.  $D$  è un

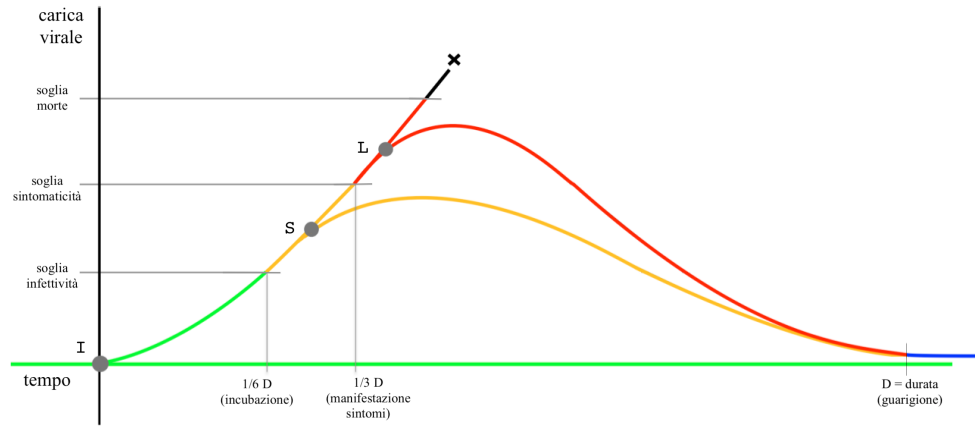


Figura 2: decorsi possibili.

parametro della simulazione, legato a  $P$  ed  $R$  come segue:

$$R < P * D.$$

L'eventuale manifestazione di sintomi da parte di un individuo contagiato deve avvenire entro  $1/3$  del tempo  $D$ . Il periodo di incubazione dura  $1/6 D$ . (Queste stime sembrano avvicinarsi alla casistica del Covid-19, per il quale la stima del tempo di incubazione è di circa una settimana, due settimane è il tempo di quarantena e si guarisce approssimativamente un mese e mezzo dopo il contagio).

Il cosiddetto fattore di contagiosità  $R_0$  si ottiene così:

$$R_0 = V * D * I.$$

Quando  $R_0 < 1$  la malattia si estingue.

I possibili decorsi della malattia sono rappresentati nel grafico in Figura 2.

### 3 Strategie

I possibili esiti dell'epidemia sono tre:

1. *la malattia viene debellata*, ovvero almeno un individuo rimane in vita e tutti i vivi sono sani o guariti;
2. *la malattia vince*, cioè tutti morti;
3. *collasso*, avviene quando terminano le risorse.

Quale di questi tre esiti si verifichi, oltre che dai valori dei parametri, dipende dalle *strategie* adottate per contrastare l'epidemia. Gli strumenti a nostra disposizione sono due: *fermare le persone* e *somministrare tamponi*. Una strategia consiste nel decidere:

- quanti tamponi applicare e a chi applicarli, e
- quante persone fermare e sulla base di quali informazioni.

Ecco alcuni esempi di strategia:

- si testa chiunque entri in contatto con un sintomatico e, se positivo, lo si ferma;
- si effettuano test a campione e si ferma chiunque risulti positivo;
- non si ferma nessuno e si spera che i parametri siano favorevoli;
- non si testa nessuno e si ferma metà della popolazione.