

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 del tampone (C)**, il costo della somministrazione di un tampone;
- **Velocità (V)**, il numero medio di incontri che ciascun individuo ha nel corso di una giornata assumendo che tutti siano in movimento.

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 ha nel corso di una giornata *quando tutti sono in movimento* è indicato con V (per velocità), ed è un parametro della simulazione. Due individui fermi non si incontrano. Dunque il numero di incontri che in media un individuo, sia fermo o in movimento, ha nel corso di una giornata, indicato con Vd (per V *dinamico*), varia a seconda di quanti siano gli individui in movimento (se stanno tutti fermi non ci sono incontri!). È possibile tracciare gli incontri, ovvero memorizzare la sequenza di incontri che un individuo ha avuto nel corso del tempo.

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 malato sintomatico, *blu* un individuo guarito e *nero* un individuo morto. I morti non consumano risorse e non sono contagiosi. Rossi e neri 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:

$$R < 10 * P * C.$$

All'inizio del tempo tutti gli individui sono in movimento, e sono tutti sani tranne uno che è giallo. Non è possibile applicare nessuna misura di contrasto dell'epidemia (né applicare tamponi, né tracciare gli incontri, né fermare individui) prima che compaia sulla scena il primo rosso.

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;

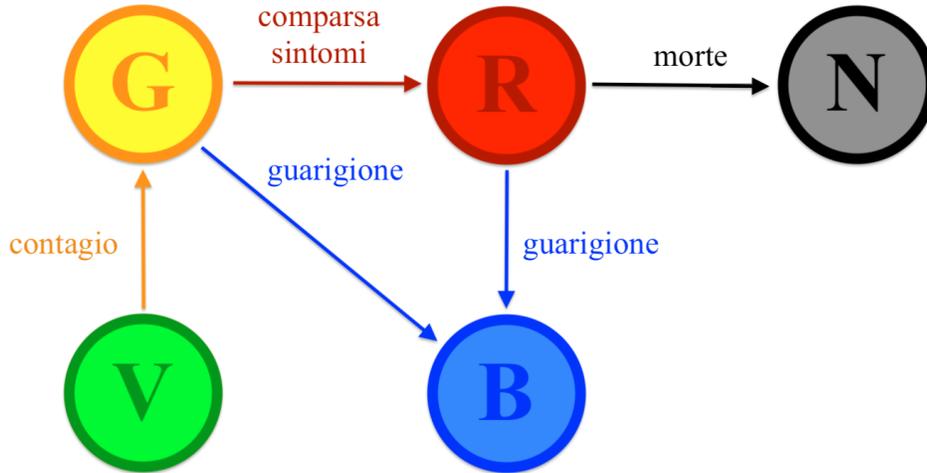


Figura 1: transizioni di colore.

- **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.

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

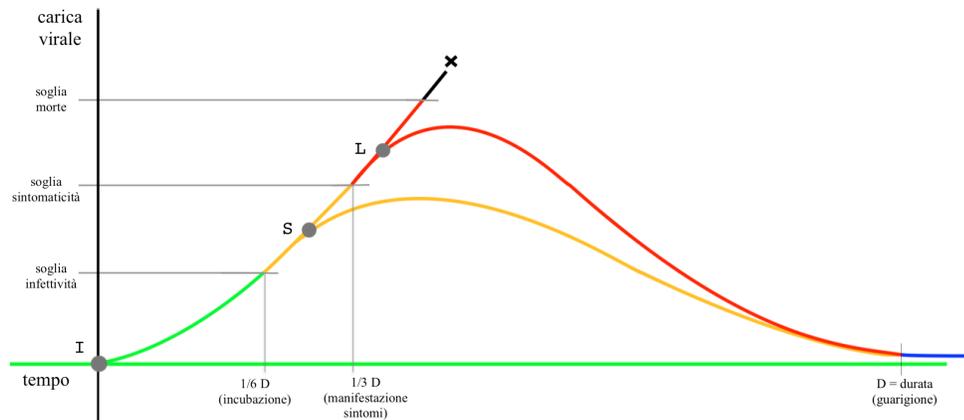


Figura 2: decorsi possibili.

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 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:

$$R_0 = Vd * D * I.$$

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 quali.

Le decisioni possono essere prese sulla base della disponibilità delle informazioni. Ad esempio, come già specificato sopra, non si può far nulla finché il primo sintomatico (rosso) non compaia sulla scena a dare l'allarme. Altro esempio, non si può decidere di fermare un individuo arancione se prima non è stato riconosciuto tale attraverso il tampone. Analogamente, l'applicazione dei tamponi può essere guidata da diversi criteri basati sul tracciamento, che vanno esplicitati nella descrizione della strategia.

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.