



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Elena Loli Piccolomini

Dipartimento di Informatica - Scienza e
Ingegneria

Fabiana Zama

Dipartimento di Matematica

Obiettivi della ricerca

- Si sono utilizzati i dati resi disponibili dalla Protezione Civile Italiana relativi a COVID-19 (contagiati, guariti, deceduti,) per fare previsione sulla diffusione dell'epidemia.
- In particolare si è stimato l'andamento del numero di contagi in un intervallo temporale di qualche decina di giorni, identificando il *picco* della curva epidemica dei contagi.
- I dati sono stati analizzati ed elaborati per regione. In particolare si sono studiati i dati relativi all'Emilia-Romagna e alla Lombardia.



Metodologia e strumenti della ricerca

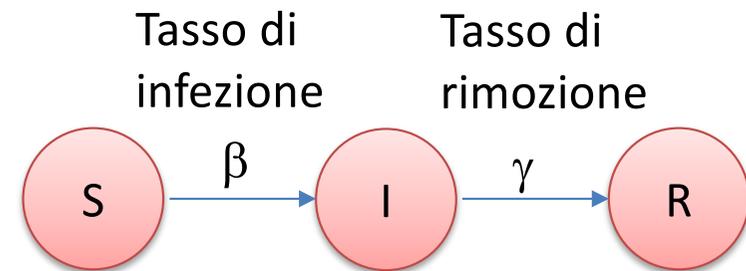
- La ricerca utilizza un modello matematico, basato su equazioni differenziali, appartenente alla famiglia dei *modelli a compartimenti*.
- I modelli a compartimenti sono uno strumento molto utilizzato in epidemiologia anche per la loro flessibilità nel potere introdurre condizioni esterne che influenzano la diffusione dell'epidemia.
- Nel caso del Covid-19 in Italia sicuramente il fattore più importante ed interessante da analizzare riguarda le misure restrittive definite dal Governo in tempi successivi (e in alcuni casi anche localmente).
- Il modello che abbiamo sviluppato tiene conto di queste misure, che rallentano la diffusione dell'epidemia. In particolare, agiscono sull'indice di contagio R_t forzando la sua decrescita.



Modelli compartimentali

- Suddivisione della popolazione in gruppi la cui interazioni descrivono l'evoluzione epidemica.
- Esempi:

(a) Suscettibili-Infetti-Rimossi (SIR)

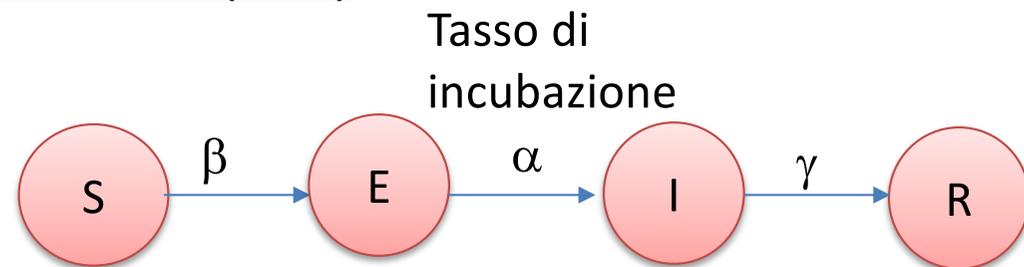


Tasso riproduttivo, numero di casi secondari generati da un infetto:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$$

Situazione Epidemica: $R_0 \gg 1$

(b) Suscettibili-Esposti-Infetti-Rimossi (SEIR)



Modelli compartimentali: possibili utilizzi e potenzialità

- Questo tipo di analisi ci permette, per ogni compartimento popolazione utilizzata (esempio: infetti, morti, guariti...) di:
 1. Approssimare i dati con una curva continua
 2. Prevedere il valore in tempi futuri non troppo lunghi
 3. Simulare situazioni possibili, modellandole attraverso funzioni matematiche. Per esempio, se si introduce un vaccino, introducendo un termine opportuno nelle relazioni che coinvolgono le popolazioni che beneficiano del vaccino, si può eseguire il modello prevedendo andamento dopo introduzione del vaccino.



Osservazioni

- Fase iniziale 10 giorni. Dati: 24/02/2020-04/03/2020
previsione infetti: **4.7 10⁶** (09/04/2020) Lombardia
2.4 10⁶ (11/04/2020) Emilia Romagna

Piccolomini, E. L. and F. Zama. "Preliminary analysis of COVID-19 spread in Italy with an adaptive SEIRD model." *arXiv: Populations and Evolution* (2020).

- Introduzione misure restrittive, inizialmente su base locale al fine di contenere il tasso di infezione. E' richiesto un adattamento dei modelli compartimentali a questa nuova situazione:

1. Aumento del numero di compartimenti: modelli più complessi con un maggior numero di parametri da stimare. Esempio

- Giordano G., Blanchini F., Bruno R., Colaneri P., Di Filippo A., Di Matteo A., et al. .

Nature Medicine, 2020; 26,855–860. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0883-7> PMID: 32322102

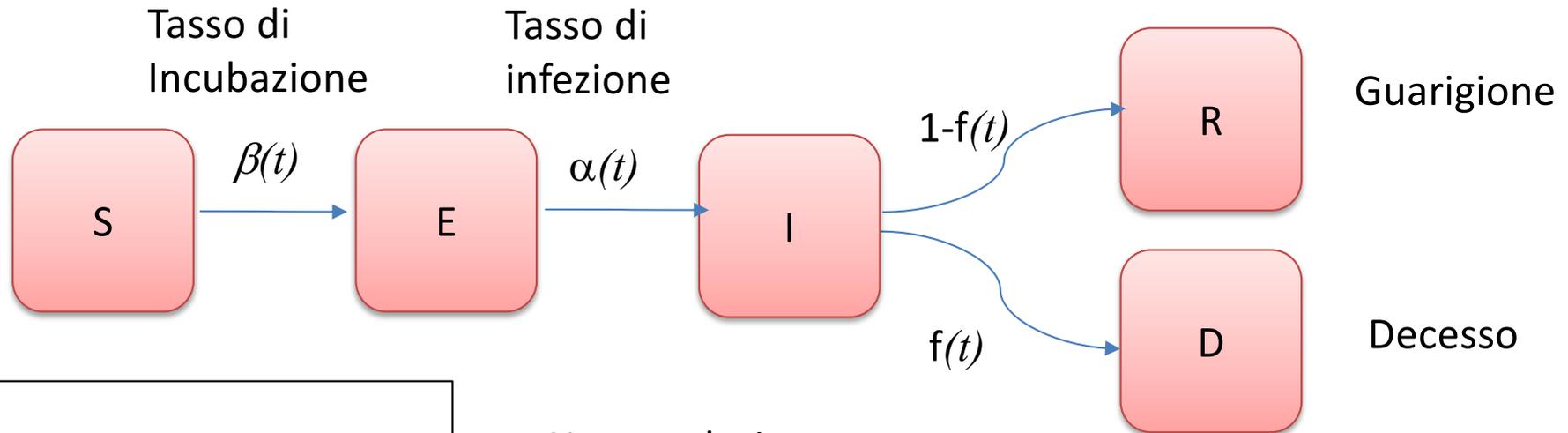
2. Modelli standard ma con tassi di infezione/rimozione variabili:

- Loli Piccolomini E, Zama F (2020) Monitoring Italian COVID-19 spread by a forced SEIRD model.

PLOS ONE 15(8): e0237417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237417>



Modello compartimentale fSEIRD



$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta(t)}{N}SI \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta(t)}{N}SI - \alpha(t)E \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha(t)E - \frac{1}{T_I}I \\ \frac{dR}{dt} &= \frac{(1-f(t))I}{T_I} \\ \frac{dD}{dt} &= \frac{f(t)I}{T_I} \end{aligned}$$

-N: popolazione

- T_I : numero giorni guarigione=20

-Dati iniziali:

$$S(t_0) = N - E(t_0) - I(t_0) - R(t_0) - D(t_0)$$

$$E(t_0) = 10 \cdot I(t_0)$$

Database



Caratteristiche

- Partizione del dominio temporale: $t_0 < t_1 < \dots < t_M$

- Flessibilità legata al tasso di infezione variabile

$$\text{fSEIRDr: } \beta(t) = \beta_r(t) \quad \beta_r(t) = \beta(t_k) (1 - \rho_k(t - t_k)/t) \quad t \in (t_k, t_{k+1}], \quad \rho_k \in (0, 1)$$

$$\text{fSEIRDe } \beta(t) = \beta_e(t), \quad \beta_e(t) = \beta(t_k) e^{-\rho_k(t-t_k)}, \quad t \in (t_k, t_{k+1}], \quad \rho_k \geq 0.$$

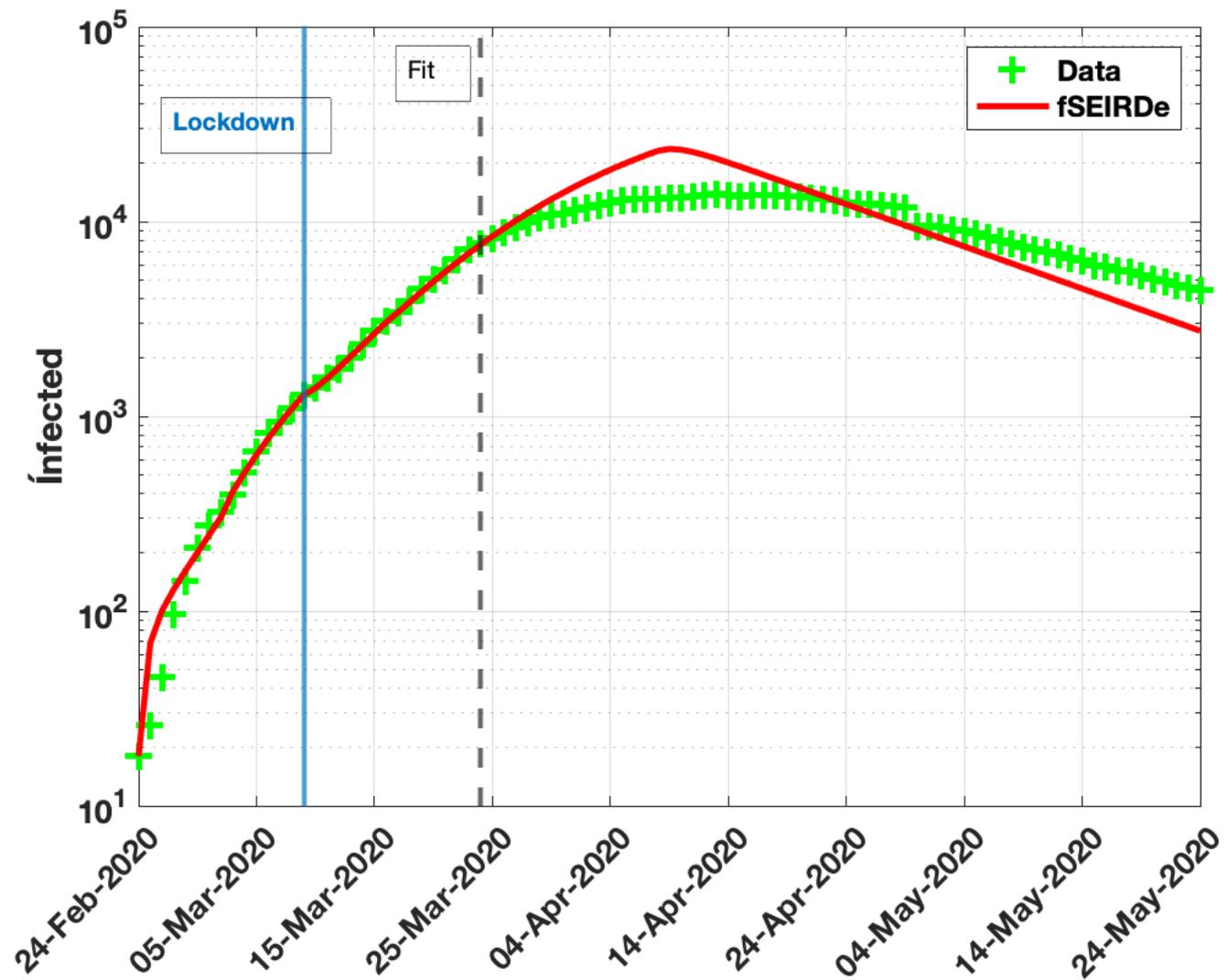
$$\begin{aligned} \alpha(t) &= \alpha_k, \quad \alpha_k \geq 0 \\ f(t) &= f_k, \quad f_k \in [0, 1] \end{aligned}, \quad t \in (t_k, t_{k+1}], \quad k \geq 0.$$



Risultati numerici Emilia Romagna: curva degli infetti

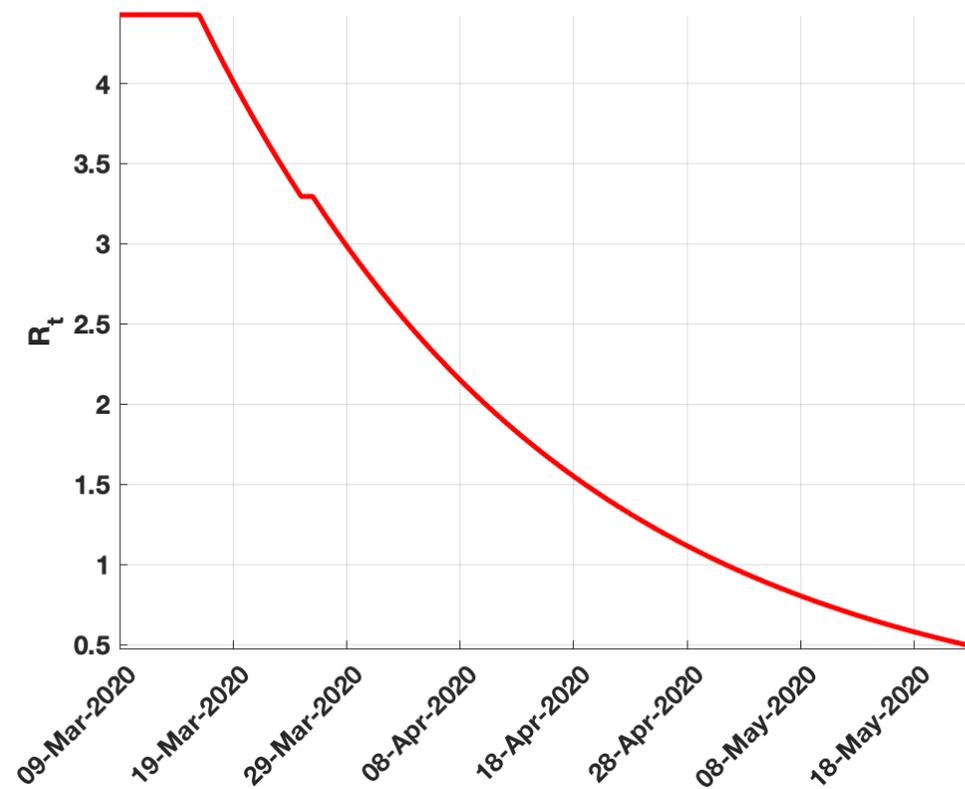
Picco dati:
13 Apr 2020
N. 13818

Picco previsione:
10 Apr 2020
N. 26297



Risultati numerici Emilia Romagna

Tasso Riproduttivo R_t

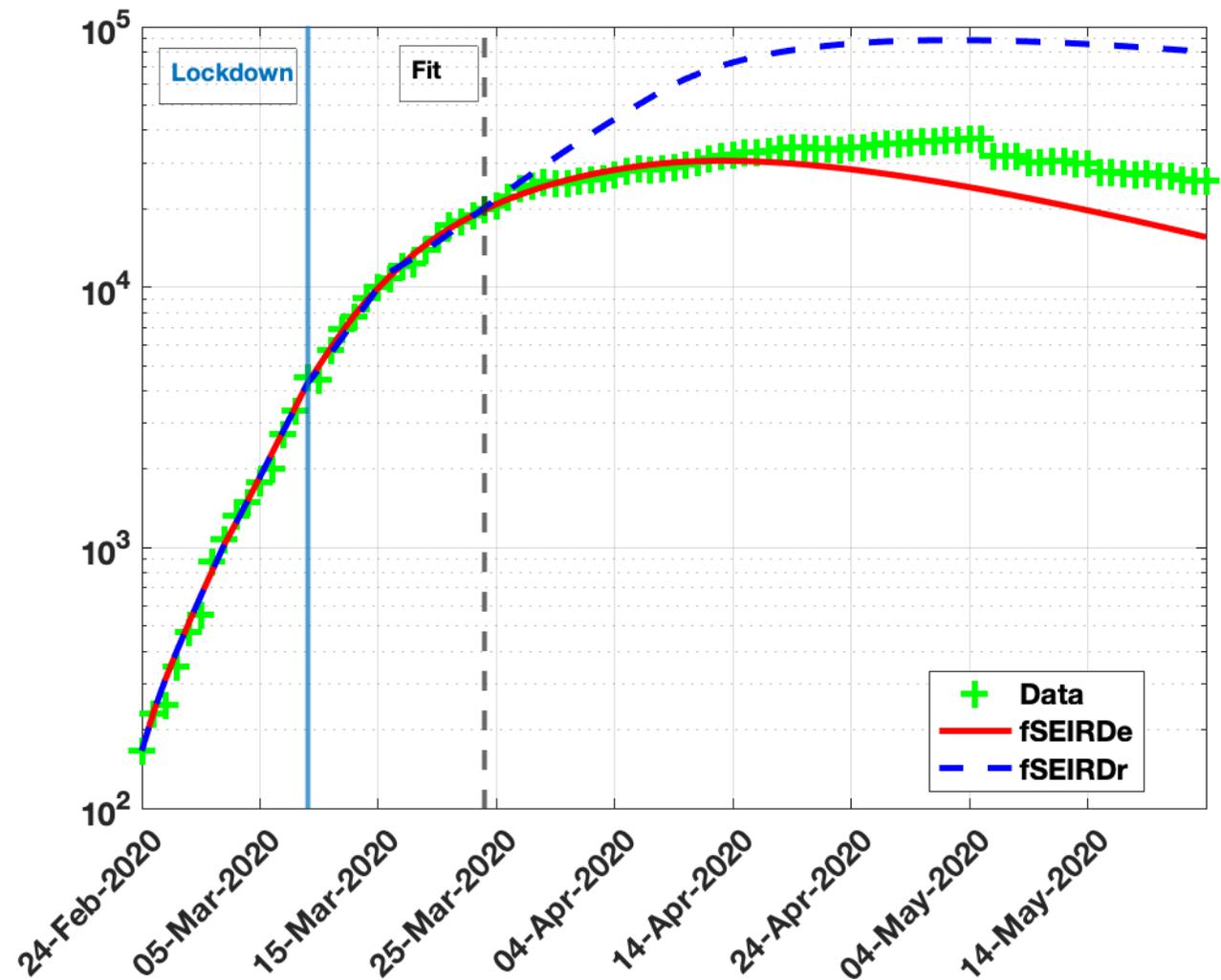


Risultati numerici Lombardia : curva degli infetti

Picco dati:
4 Maggio 2020
N. 37307

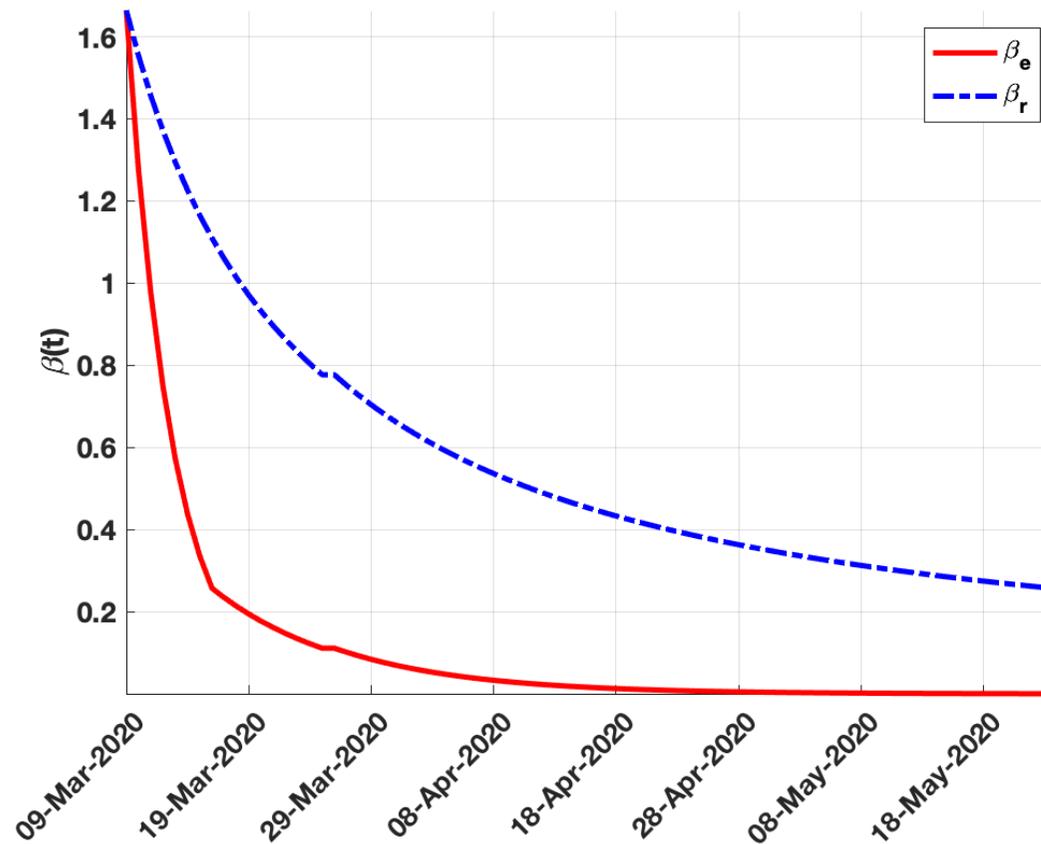
Picco previsione:
fSEIRDe: 13 Apr 2020
N. 30576

fSEIRDr: 3 Maggio 2020
N. 88763



Risultati numerici Lombardia

Tasso di infezione



Conclusioni e lavoro futuro

- Il modello analizzato ci ha permesso di prevedere il picco di infetti con i dati disponibili fino al 30 Marzo per le due regioni, Emilia-Romagna e Lombardia, più colpite dal Covid In Italia, con pochi giorni di errore (da 1 a 4 giorni di errore nei vari casi).
- LO stesso modello si può utilizzare con dati successivi per fare previsione nel breve periodo (15-20 giorni).
- Il modello può essere modificato per tenere conto di altri eventi o situazioni e fare simulazioni sugli effetti dell' epidemia sulle popolazioni considerate.

