

# **MODELLI E METODI MATEMATICI E STATISTICI PER L'EPIDEMIA DI COVID-19**

**Giovanni Sebastiani**

**Istituto per le Applicazioni del Calcolo “Mauro Picone”  
Consiglio Nazionale delle Ricerche**

**5 luglio 2022**

***“Quindi per orientarsi non vi è altro mezzo che ricorrere  
a quei procedimenti, che in tutte le questioni analoghe  
han giovato in modo così manifesto: ai procedimenti cioè  
fondati sul calcolo delle probabilità.” Vito Volterra***

## **Sommario**

**epidemia Covid-19**

**diffusione epidemia Covid-19**

**dati Covid-19**

**problemi, modelli e metodi**

**modelli e metodi**

**una buona notizia**

## epidemia Covid-19

**malattia trasmissibile tra individui della specie umana principalmente tramite le vie aeree**

**bassa letalità apparente**

**elevata diffusività**

**stagionalità**

**elevato tasso di mutazione (nuove varianti)**

**reinfezioni**

**diminuzione efficacia vaccini nel tempo contro nuove varianti**

**tempo di latenza tra infezione e comparsa dei primi sintomi**

**presenza di soggetti infettivi ma asintomatici**

**conseguenze dirette e indirette sulla salute pubblica**

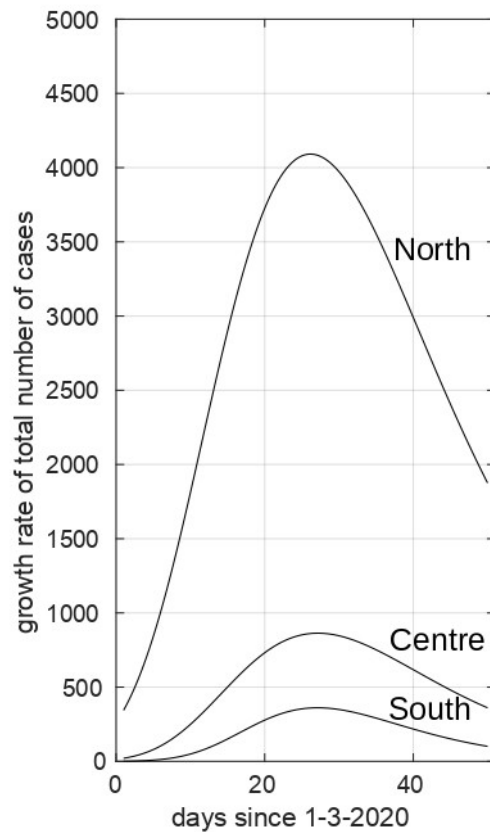
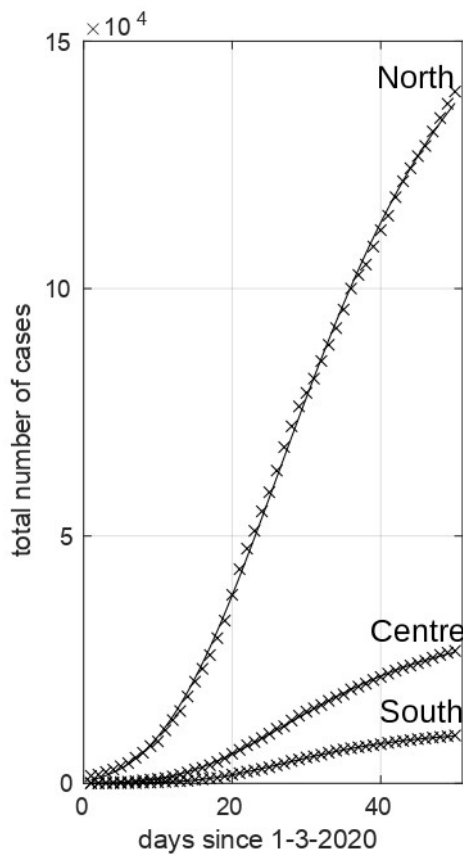
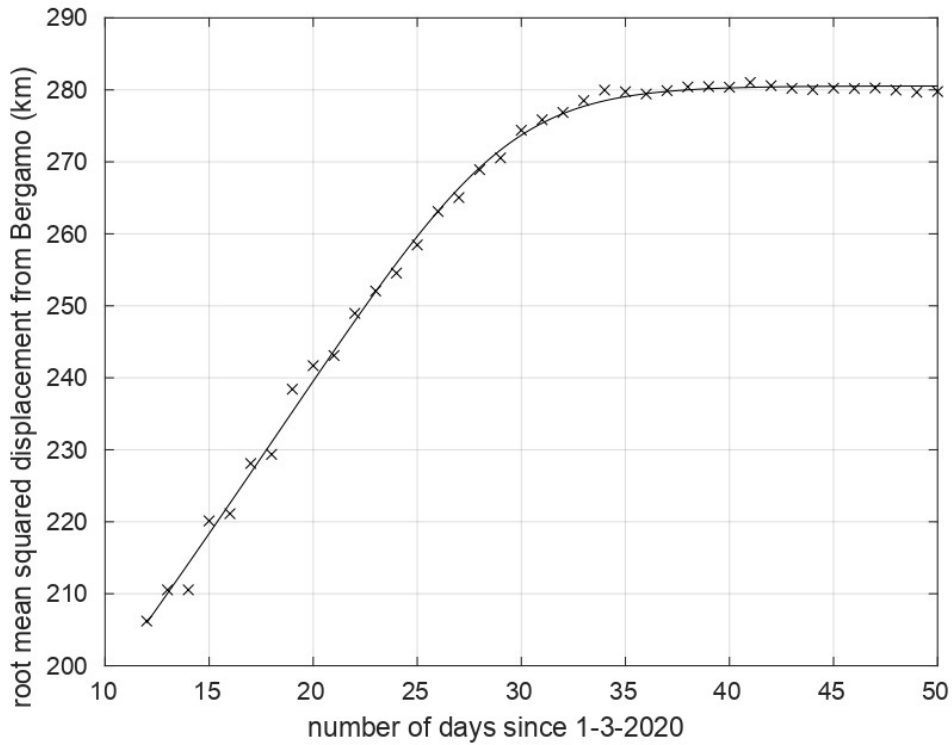
**conseguenze di tipo economico e sociale**

**bassa cultura scientifica della popolazione generale e delle istituzioni**

**errori nella comunicazione di massa**

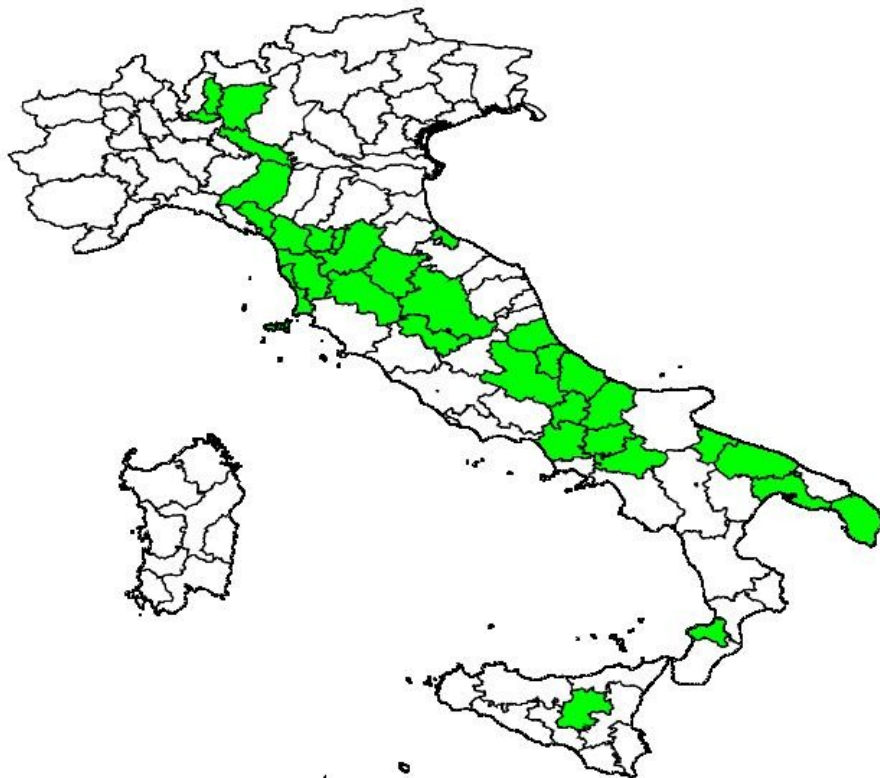
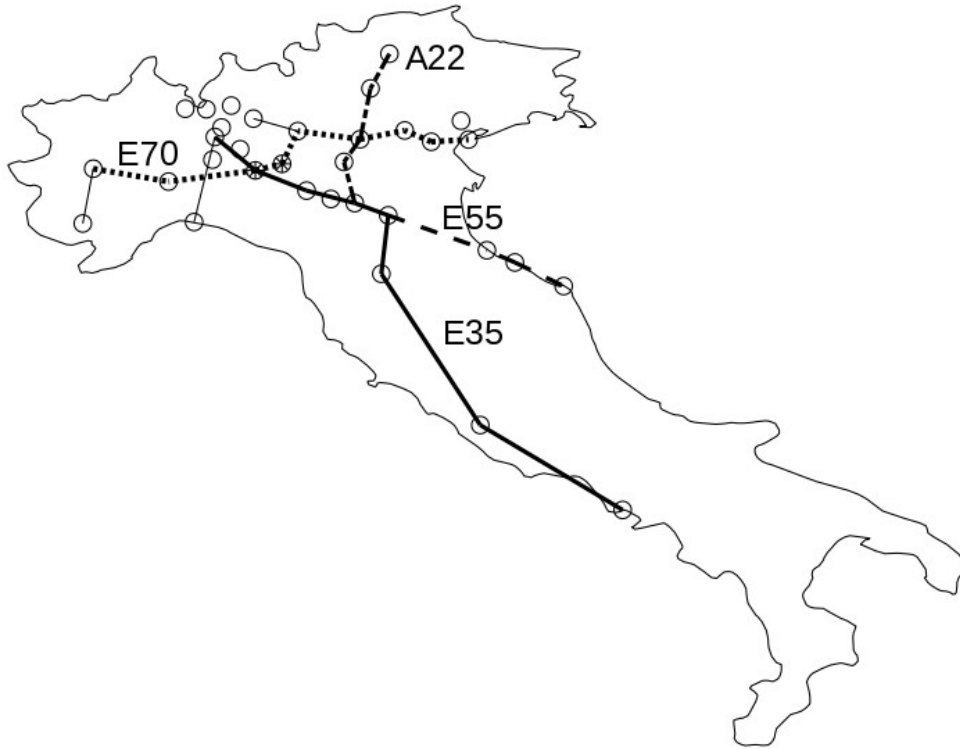
# diffusione epidemia Covid-19

**espansione di tipo polare (es. Bergamo primavera 2020)**



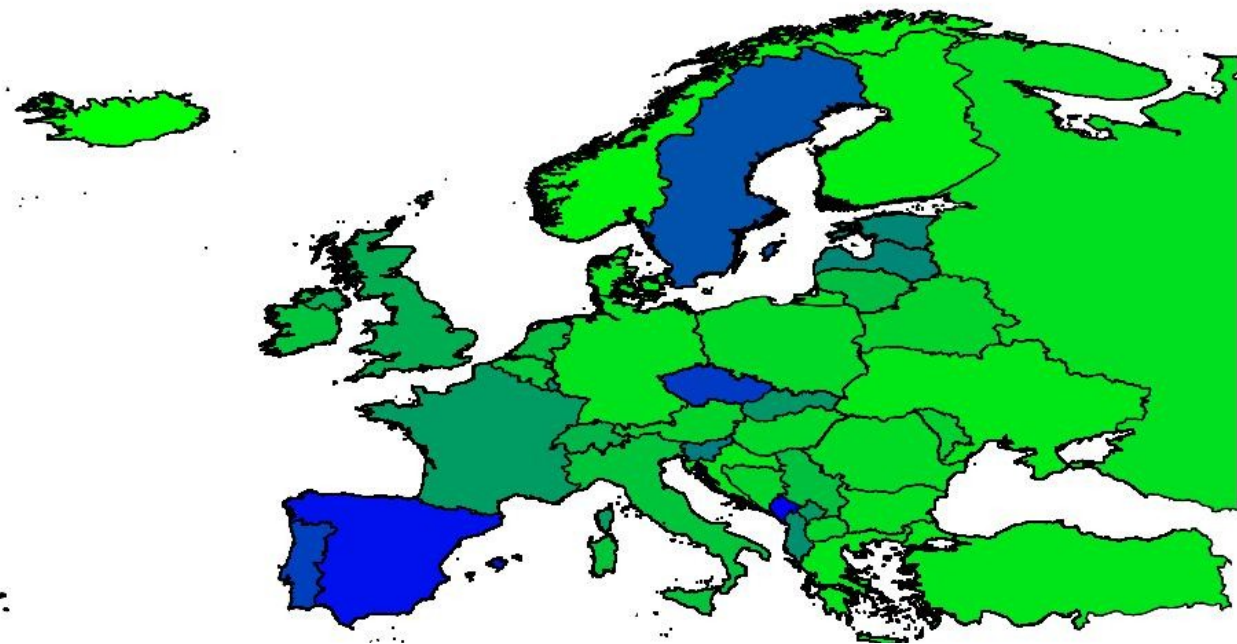
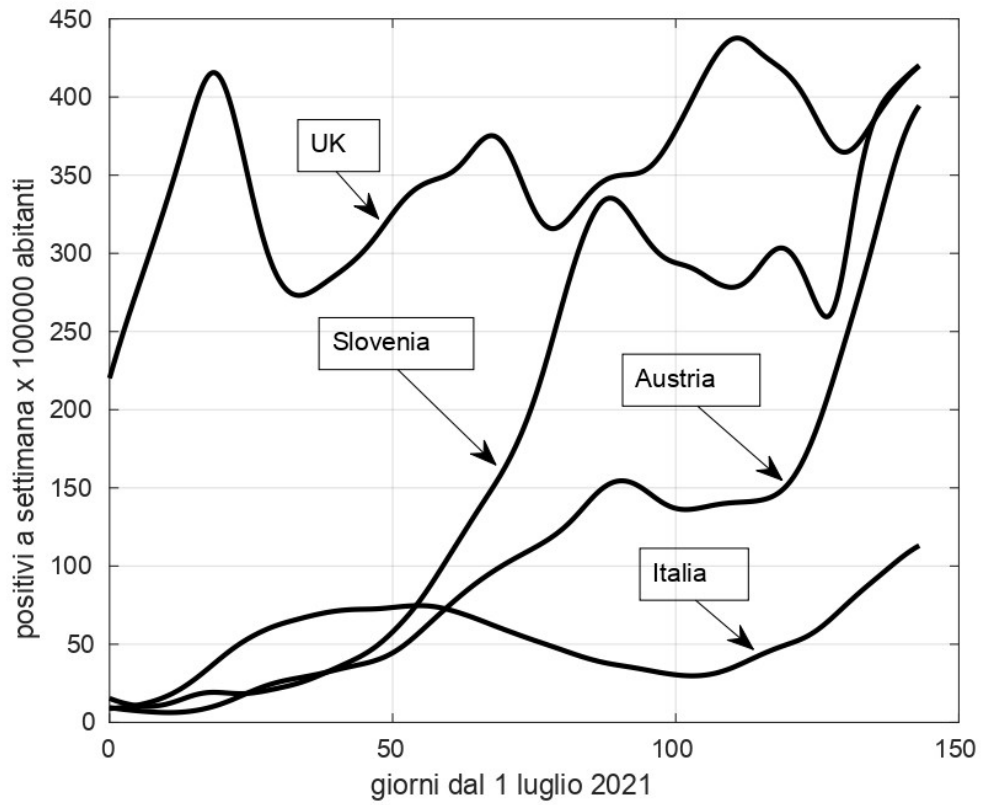
## diffusione epidemia Covid-19

**anisotropia (es. primavera 2020, inverno 2021)**



# diffusione epidemia Covid-19

## variabilità temporale e spaziale



## dati Covid-19

**siti pubblici, e.g. Protezione Civile, ISS, Agenas, Ministero Salute, John Hopkins University**

**incidenza positivi**

**no. test effettuati ogni giorno**

**occupazione reparti ordinari**

**occupazione reparti terapie intensive**

**capienza regionale reparti ordinari e terapie intensive**

**ingressi giornalieri terapie intensive (da circa 15-12-20)**

**incidenza decessi**

**incidenza soggetti con primi sintomi (da circa 15-3-21)**

**dati vaccinazione**

**aggregati, e.g. per le province solo dati incidenza positivi**

## problemi, modelli e metodi

analisi temporale qualitativa e quantitativa, e.g. trend, tipo di crescita,  $R_t$ , tempo di raddoppio

problema: stima  $R_t$

dati  $Y(t)$ : sequenza temporale giornaliera no. soggetti che manifestano primi sintomi

modello dati: i.i.d. Poisson

valore atteso segue equazione integrale (discretizzata)

$$X(t) = R_t(t)(X * f)(t) = R_t(t) \int_0^t X(s)f(t-s) ds$$

kernel  $f(\bullet)$ : pdf del serial interval

modello a priori per  $R_t$ : i.i.d. gamma(a,b)

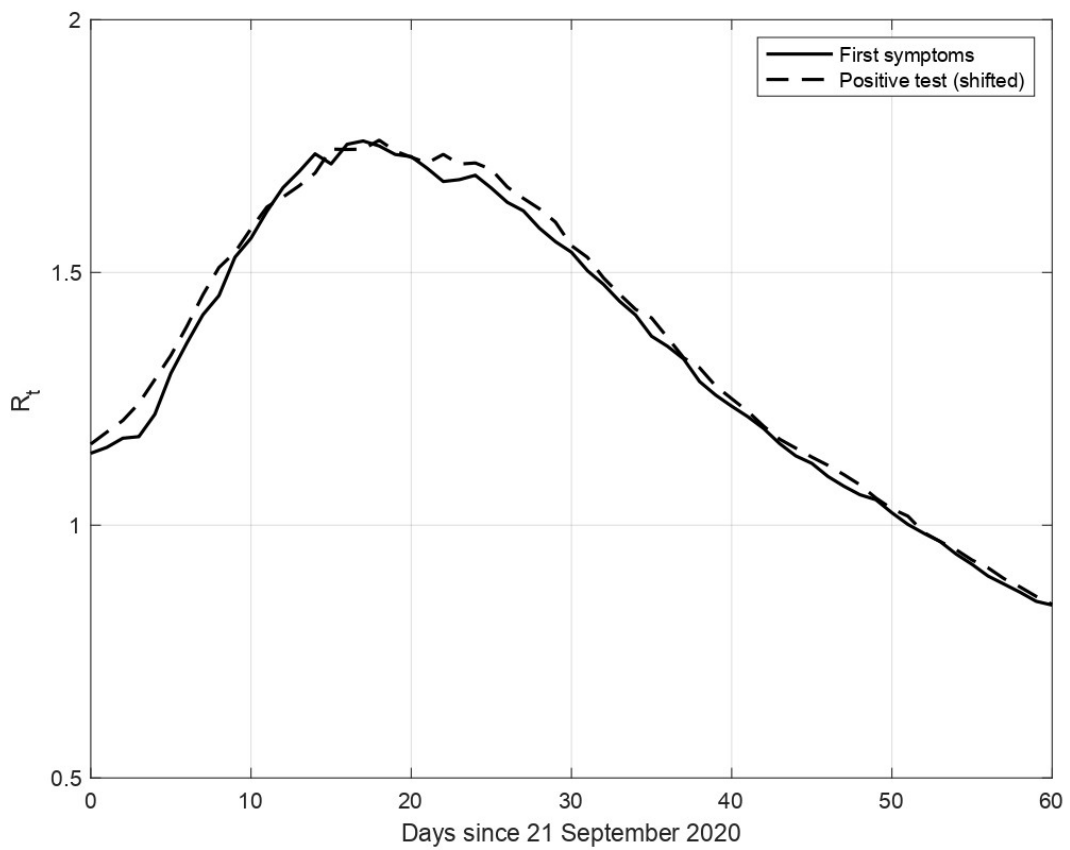
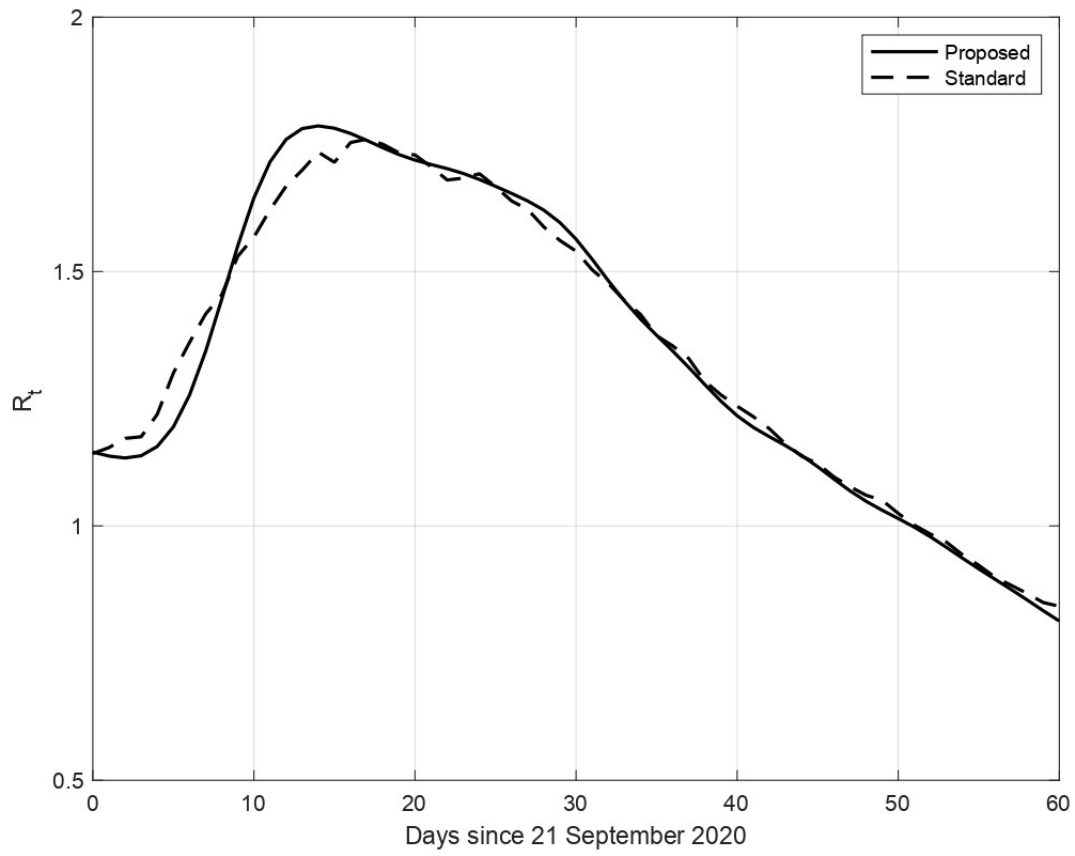
assunzione che  $R_t$  è costante in intervallo di 14 giorni “centrato” in t

$R_t$  segue modello gamma con valore atteso

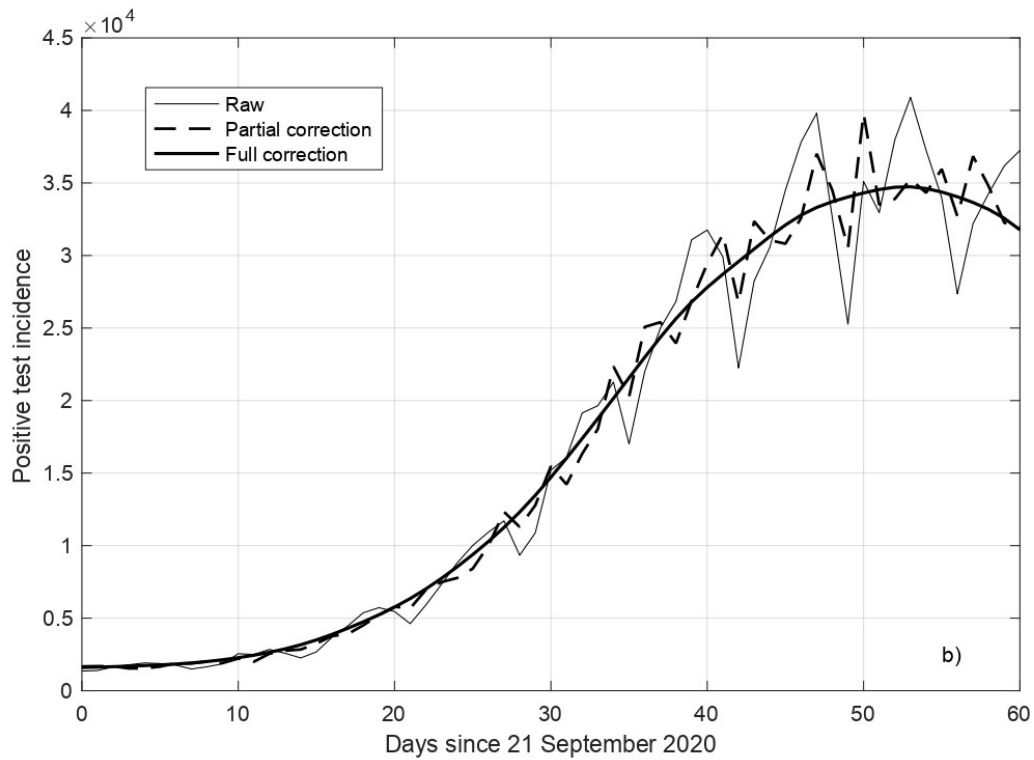
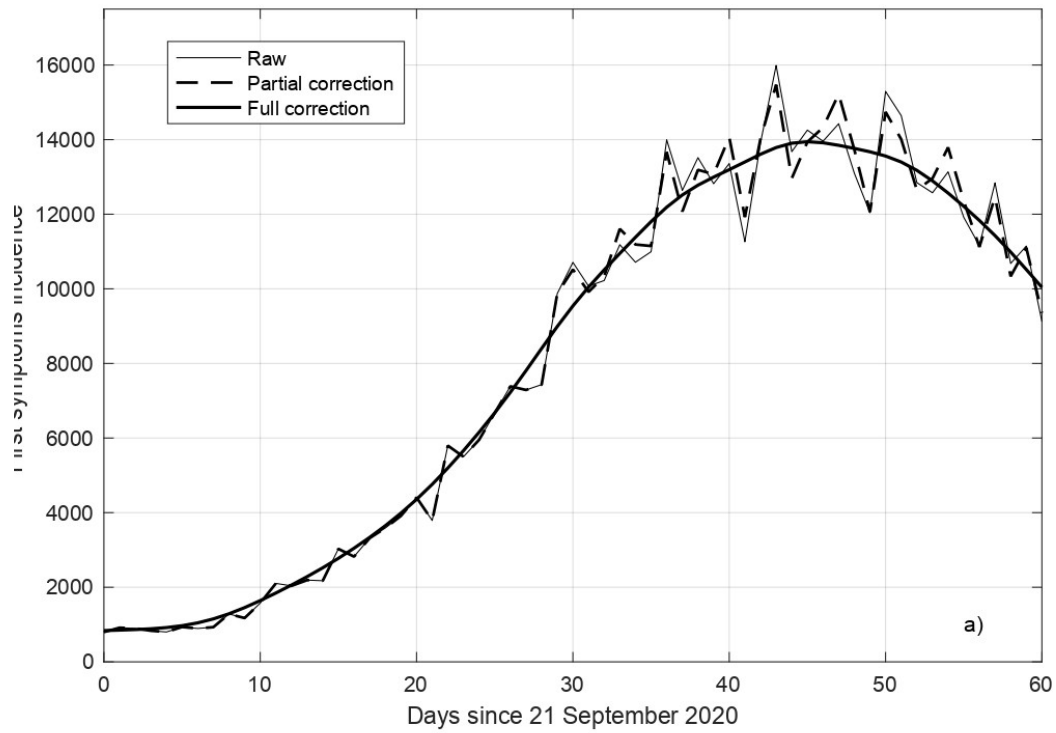
$$\hat{R}_t(t) = \frac{a + \sum_{s=t-7}^{t+6} Y(s)}{\frac{1}{b} + \sum_{s=t-7}^{t+6} (Y * f)(s)}$$



# problemi, modelli e metodi



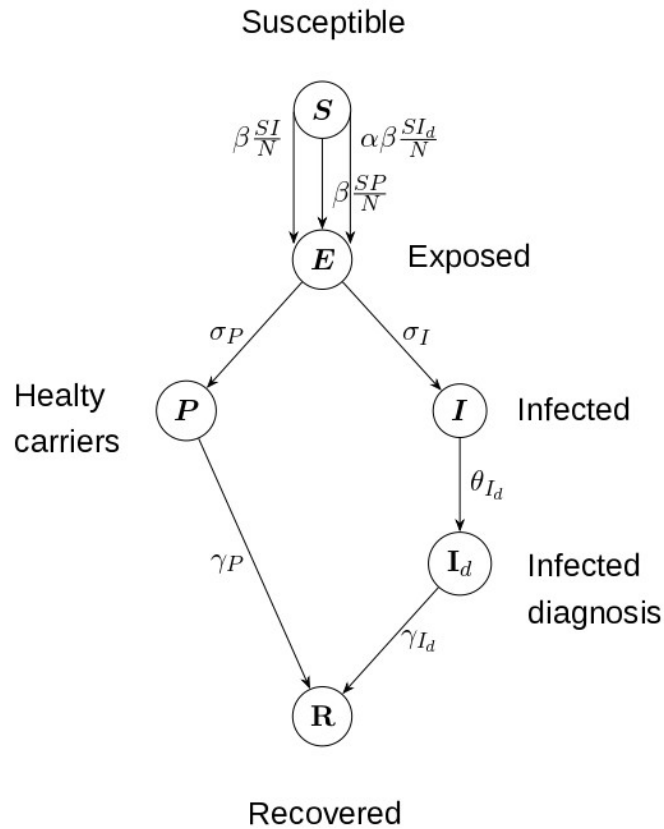
# problemi, modelli e metodi



## problemi, modelli e metodi

previsione, e.g. raggiungimento “picco”

modello con 6 compartimenti:



$$\frac{dS}{dt} = -\beta(t) \frac{S(P+I)}{N} - \alpha\beta(t) \frac{SI_d}{N} \quad (1a)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta(t) \frac{S(P+I)}{N} + \alpha\beta(t) \frac{SI_d}{N} - E(\sigma_P + \sigma_I) \quad (1b)$$

$$\frac{dP}{dt} = \sigma_P E - \gamma_P P \quad (1c)$$

$$\frac{dI}{dt} = \sigma_I E - \theta_{I_d} I \quad (1d)$$

$$\frac{dI_d}{dt} = \theta_{I_d} I - \gamma_{I_d} I_d \quad (1e)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma_P P + \gamma_{I_d} I_d, \quad (1f)$$

**equazioni differenziali ordinarie**

**metodi numerici alle differenze deterministici**

**approccio bayesiano**

**distribuzione a priori i.i.d. sui reciproci dei rate (stimate dai dati per  $1/\theta_{I_d}$ ,  $1/\gamma_{I_d}$ ) e su  $R_t$**

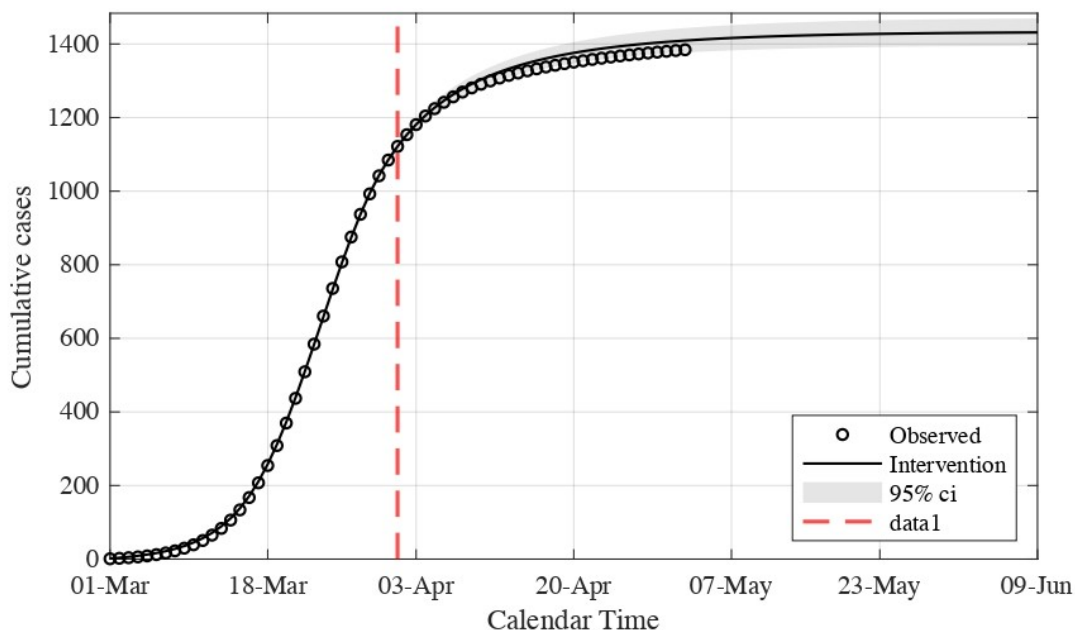
$$R_t = \frac{\beta(t)}{(\sigma_I + \sigma_P)} \left( \frac{\sigma_P}{\gamma_P} + \frac{\sigma_I}{\theta_{I_d}} + \alpha \frac{\sigma_I}{\gamma_{I_d}} \right)$$

**dati:  $I_d(t)$ ,  $R(t)$**

**distribuzione dati: i.i.d. Poisson**

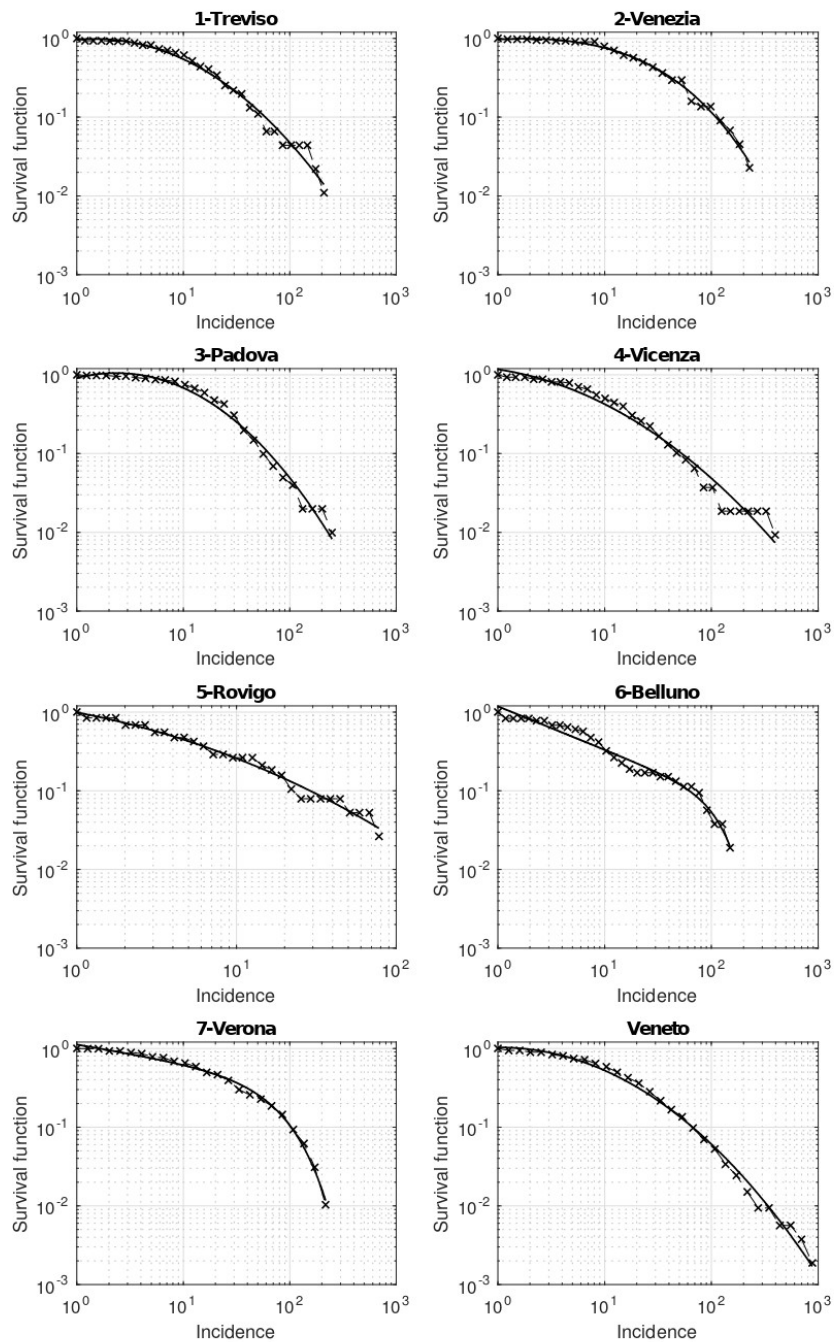
**stimatore: media a posteriori**

**simulazione Monte Carlo tramite catene di Markov**



# problemi, modelli e metodi

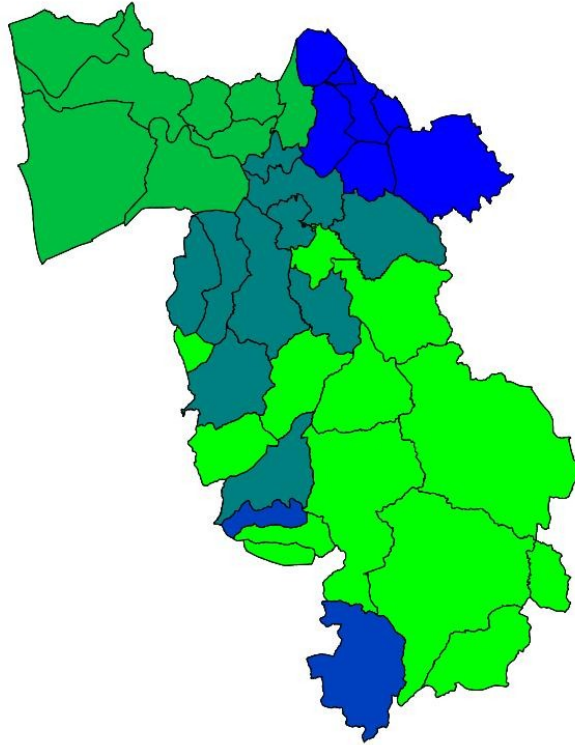
## caratterizzazione e quantificazione diffusione



**dati: totale positivi comuni Veneto fino al 15-5-20**

**modello per la funzione di sopravvivenza dell'incidenza:  
tapered Pareto**

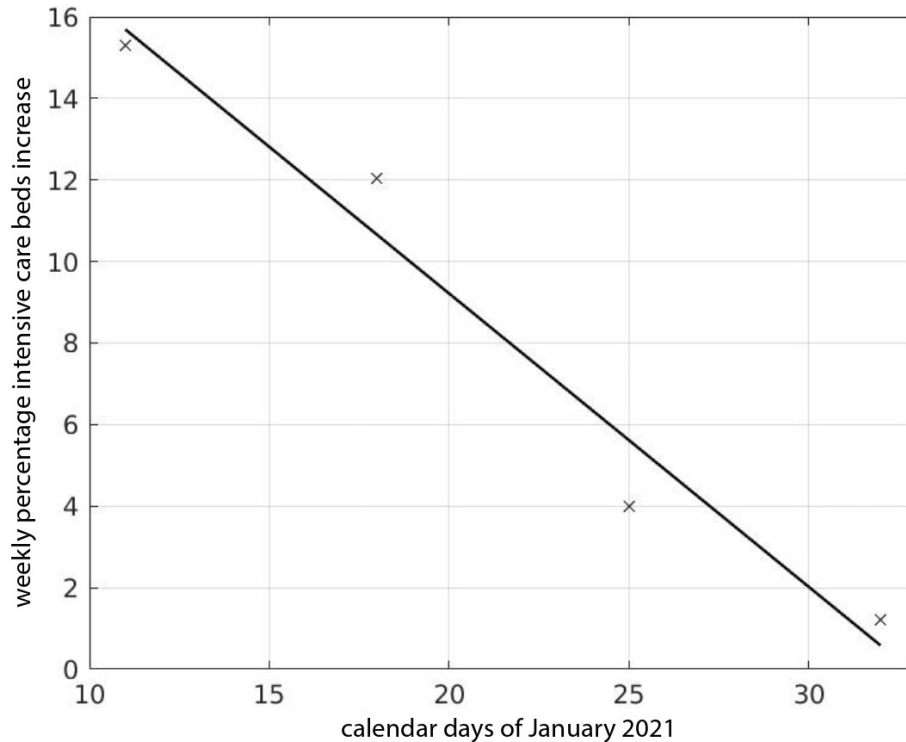
analisi spaziale, e.g. clustering



**dati: incremento incidenza (normalizzata) da 1-5-2021 a 15-5-2021 comuni provincia di Pisa**

**hierarchical clustering: criterio somma varianze intra-cluster, distanza euclidea, no. cluster massimizzando  $\text{loss}(k \rightarrow k-1) / \text{gain}(k \rightarrow k+1)$**

**identificazione fattori diffusione**

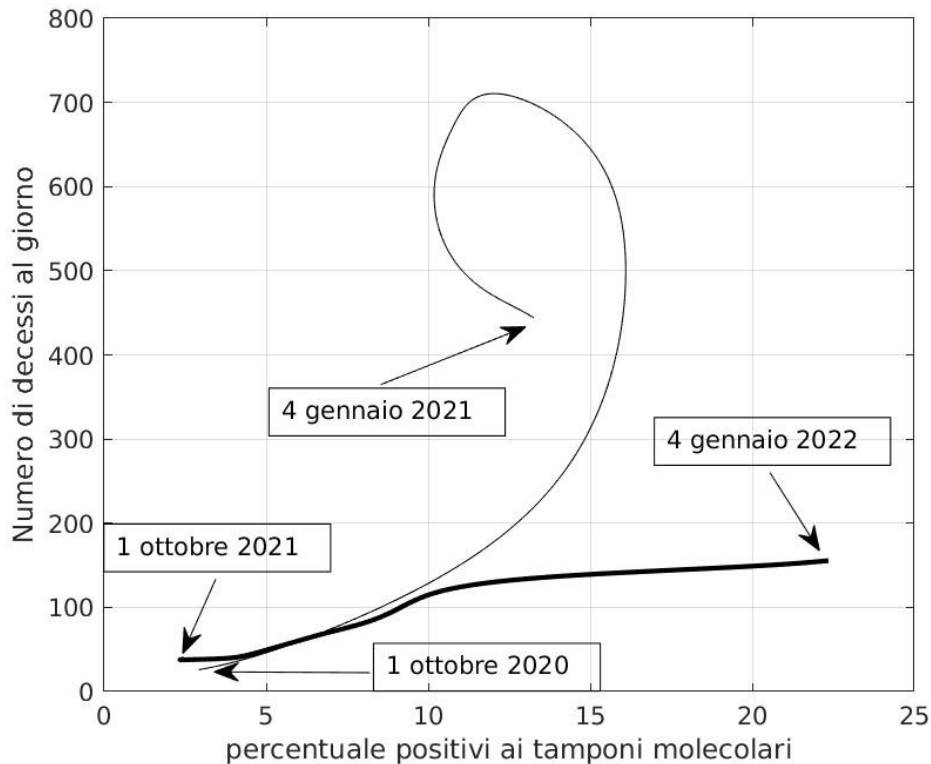


**dati: no. pazienti Covid in TI cumulati nei 4 gruppi di Regioni/P.A. per inizio didattica genn./febb. 2021**

**modello parametrico, stima derivata (normalizzata)  
inizio ultima settimana febbraio 2021**

## problemi, modelli e metodi

**quantificazione effetti, e.g. vaccinazione**



**dati: incidenza positivi ai test molecolari, numero test molecolari al giorno, incidenza decessi**

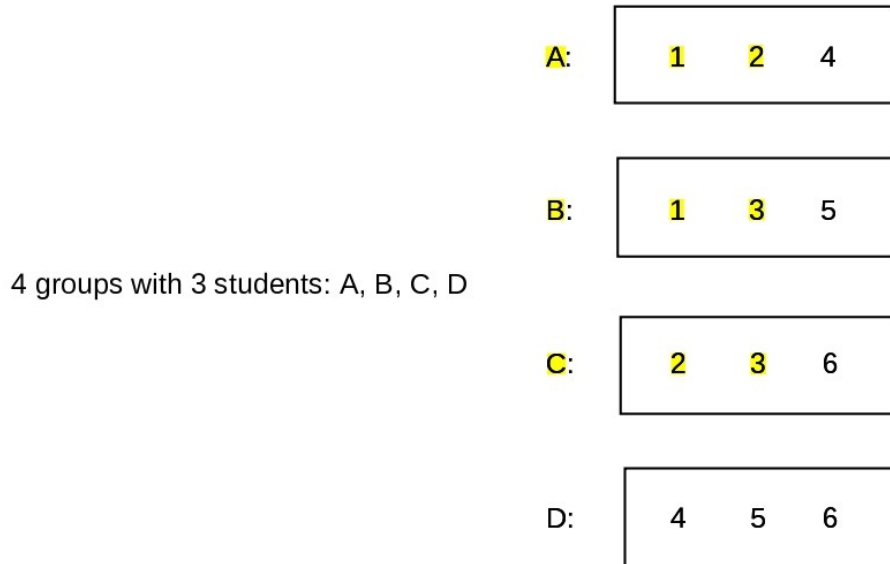
**regressione lineare non parametrica separatamente x percentuale positivi ai test molecolari e incidenza decessi**



## problemi, modelli e metodi

### simulazione e ottimizzazione effetti, e.g. test di gruppo

6 students: 1, 2, 3, 4, 5, 6



**dati: risultati positività test di gruppi studenti**

**minimizzazione numero medio di test totali al giorno  
rispetto a no. gruppi e loro composizione**

**metodi esatti ed euristici x ottimizzazione combinatoria**

## modelli e metodi

**modelli e metodi statistici generali parametrici e non per  
analisi e previsione serie storiche**

**statistica spaziale**

**metodi classici statistica univariata e multivariata**

**equazioni differenziali ordinarie**

**algoritmo di Gillespie**

**equazioni differenziali stocastiche**

**statistica bayesiana**

**reti bayesiane**

**processi stocastici**

**metodi inferenziali per modelli parametrici**

**branching processes**

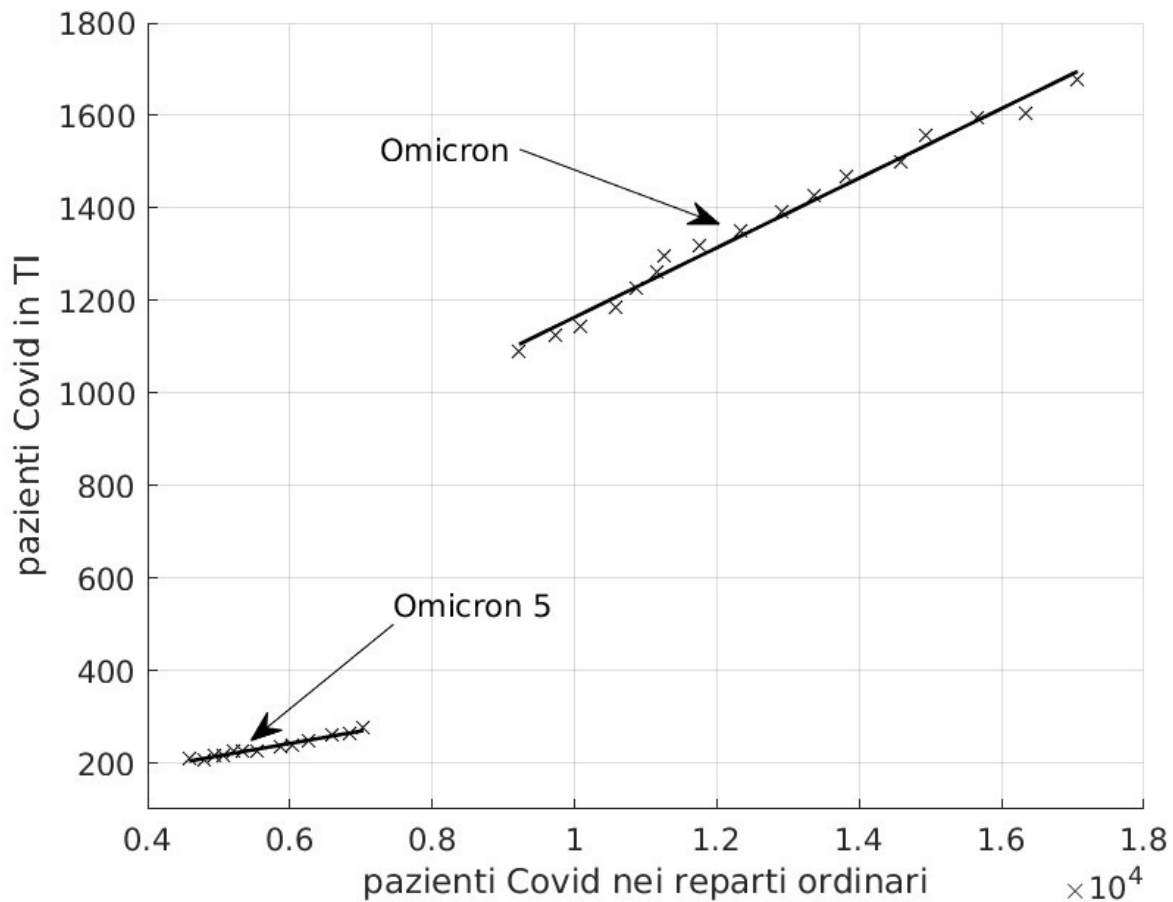
**ETAS model**

**grafi aleatori**

**data mining**

**machine learning**

## una buona notizia



**sembra che il virus continui a evolvere nella direzione giusta: alta diffusività, bassa aggressività**

**non ci sono ragioni teoriche per evoluzione con la seconda caratteristica**

## pubblicazioni

G. Sebastiani and I. Spassiani, “New insights for the estimation of reproduction numbers along an epidemic”, under revision.

G. Sebastiani and G. Palù, “COVID-19 Pandemic: Influence of Schools, Age Groups, and Virus Variants in Italy”, *Viruses*, 2021, 13, 1269, <https://doi.org/10.3390/v13071269>.

I. Spassiani, G. Sebastiani and G. Palù, “Spatiotemporal analysis of COVID-19 incidence data”, *Viruses*, vol. 13, 463, 2021. <https://doi.org/10.3390/v13030463>.

I. Spassiani, L. Gubian, G. Palù, and G. Sebastiani, “Vaccination criteria based on factors influencing Covid-19 diffusion and mortality”, *Vaccines*, vol. 8, 766, 2021. <https://doi.org/10.3390/vaccines80407662020>.

G. Sebastiani and G. Palù, “COVID-19 and School Activities in Italy”, *Viruses*, vol. 12, 1339, 2020. <https://www.mdpi.com/1999-4915/12/11/1339>.

A. Olivieri, G. Palù, and G. Sebastiani, “Covid-19 cumulative incidence, intensive care and mortality in Italian regions compared to selected European countries”, *International Journal of Infection Diseases*, vol. 102, 363-368, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.070>.

G. Sebastiani and J. Stander, “Returning to schools and universities in the time of coronavirus: some statistical suggestions”, *Significance*, Royal Statistical Society, 2020, <https://www.significancemagazine.com/science/687-returning-to-schools-and-universities-in-the-time-of-coronavirus-some-statistical-suggestions>

G. Sebastiani, J. Stander, and M. Borja, “Some comparison between Italy and the U.K. for the Covid-19: from March to April”, *Significance*, Royal Statistical Society, 2020, <https://www>.

**[significancemagazine.com/science/657-some-comparisons-between-italy-and-the-uk-for-covid-19-march-to-april-2020](https://significancemagazine.com/science/657-some-comparisons-between-italy-and-the-uk-for-covid-19-march-to-april-2020).**

**G. Sebastiani, M. Massa, and E. Riboli, “Covid-19 epidemic in Italy: evolution, projections and impact of government measures”, *European Journal of Epidemiology*, vol. 35, pp. 341-345, 2020.**