

# La pandemia vista da un fisico sperimentale

**Luca Lista**

Università Federico II

INFN Napoli

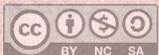


Illustrazione di Milo Manara.



**Il Gruppo CovidStat INFN**  
Gianluca Bonifazi (UnivPM)  
Luca Lista (NA)  
Dario Menasce (MI)  
Mauro Mezzetto (PD)  
Daniele Pedrini (MI)  
Roberto Spighi (BO)  
Antonio Zoccoli (BO)

- La pandemia è un **fenomeno complesso** che condiziona la vita di tutti peggiorando **salute** e **economia**
- **Affrontare la pandemia** richiede scelte difficili che hanno impatto sulla società
- **Politica e individui** possono fare scelte consapevoli solo se **comprendono la situazione** e le sue **possibili evoluzioni**





# Comprendere la pandemia

- I meccanismi di diffusione non riguardano solo la medicina e richiedono modelli matematici
- Molti si sono cimentati nell'analisi dei dati provando modelli, alcuni tentando previsioni
  - Numerosi dati sono pubblici in rete
- Anche fisici hanno analizzato i dati usando particolari competenze:
  - Analisi statistica dei dati
  - Modellistica teorica
- Alessandro Vespignani, epidemiologo all'Università di Boston, è un fisico

The screenshot shows a Facebook group page for "physicists against sars-cov-2". The group has 6.8K members and is public. The page features a banner with a stylized atomic symbol and the text "PHYSICISTS AGAINST SARS-COV-2". Below the banner, there are navigation tabs for "About", "Discussion", "Announcements", "Members", "Events", "Media", and "Files". The "Discussion" tab is active, showing a post by Cayce Pollard Colaiori from May 4. The post is titled "NEWS FROM THE COMMUNITY MODERATORS TEAM:" and contains a disclaimer about the group's policy. Below the post, there are 15 likes and a share button. The right sidebar shows "About" information, "Popular Topics in Posts" (DataAnalysis, Papers, Questions), and "Recent Media" with several images of graphs and charts. At the bottom, there is a post by Giorgio Parisi from October 21, sharing a link to a Huffington Post article about "Misure drastiche o a metà novembre 500 morti al giorno (di G. Parisi)". The article includes a line graph showing the number of cases over time, with a red line representing the current trend and a black line representing a previous trend. The graph shows a sharp increase in cases starting in late October, reaching over 20,000 cases by early November. The text below the graph reads "HUFFINGTONPOST.IT Misure drastiche o a metà novembre 500 morti al giorno (di G. Parisi)".

Search this file...

	data	stato	codice	lat	long	ricoverati_con_sintomi	terapia_intensiva	totale_ospedalizzati	isolamento_domicili
1	2020-10-28T17:00:00	ITA	13	41.902826	13.39843823	306	26	332	4697
2	2020-10-28T17:00:00	ITA	17	42.854111	15.80514834	73	7	80	1104
3	2020-10-28T17:00:00	ITA	18	38.90597598	16.59440194	120	11	131	2373
4	2020-10-28T17:00:00	ITA	15	40.83956555	14.25084984	1235	160	1395	33491
5	2020-10-28T17:00:00	ITA	08	44.49436681	11.341720800000001	999	119	1118	17112
6	2020-10-28T17:00:00	ITA	06	45.6411354	13.6813649	146	35	181	356
7	2020-10-28T17:00:00	ITA	12	41.8917044	12.8592192	1669	166	1835	
8	2020-10-28T17:00:00	ITA	07	44.4119315	8.9227171	878	46	924	
9	2020-10-28T17:00:00	ITA	03	45.46679409	9.190347404	3072	292	3364	
10	2020-10-28T17:00:00	ITA	11	43.61675973	13.5188753	250	32	282	
11	2020-10-28T17:00:00	ITA	14	41.55774754	14.65916051	19	4	23	
12	2020-10-28T17:00:00	ITA	21	46.49933453	11.35662422	181	15	196	
13	2020-10-28T17:00:00	ITA	22	46.06893511	11.12123097		6	100	166
14	2020-10-28T17:00:00	ITA	01	45.0732745	7.680687483		135	2372	23415
15	2020-10-28T17:00:00	ITA	16	41.12559576	16.86736688		70	760	8677
16	2020-10-28T17:00:00	ITA	20	39.21531192	9.110616306		37	335	5013
17	2020-10-28T17:00:00	ITA	19	38.11569725	13.362356699999999	587	111	898	11290
18	2020-10-28T17:00:00	ITA	09	43.76923077	11.25588885	857	130	987	21373
19	2020-10-28T17:00:00	ITA	10	43.10675841	12.38824698	255	37	292	4707
20	2020-10-28T17:00:00	ITA	02	45.73750286	7.320149366	107	7	114	1316
21	2020-10-28T17:00:00	ITA	05	45.43490485	12.33845213	708	90	798	20802

I dati



15 dicembre 2020 - Aggiornamento casi Covid-19

Dati aggregati quotidiani Regioni/PPAA - Ministero della Salute - Istituto Superiore di Sanità

REGIONE	POSITIVI SARS-CoV2					Dimessi guariti	Deceduti	Casi totali	Incremento casi totali (rispetto al giorno precedente)	Totale persone testate	Totale tamponi effettuati (processati con test molecolare)	Incremento tamponi (rispetto al giorno precedente)
	Ricoverati con sintomi	Terapia intensiva		Isolamento domiciliare	Totale attualmente positivi							
		Totale ricoverati	Ingressi del giorno									
Lombardia	4.996	656	28	70.238	75.890	347.130	23.991	447.011	2.404	2.478.151	4.477.309	27.676
Veneto	2.694	346	45	89.650	92.690	99.108	4.992	196.790	3.320	1.134.294	3.023.689	16.880
Piemonte	3.761	266	5	46.943	50.970	128.989	7.213	187.172	1.106	1.046.569	1.784.446	18.330
Campania	1.720	123	0	88.399	90.242	83.068	2.390	175.700	647	1.239.599	1.830.136	8.441
Emilia-Romagna	2.797	214	17	61.623	64.634	76.205	6.719	147.558	1.238	1.157.563	2.349.809	15.770
Lazio	2.921	321	12	80.979	84.221	54.870	3.059	142.150	1.159	1.949.641	2.489.437	15.612
Toscana	1.156	214	15	14.894	16.264	93.619	3.238	113.121	332	1.011.122	1.733.863	8.572
Sicilia	1.225	185	14	34.559	35.969	42.192	2.030	80.191	1.087	737.959	1.098.601	9.086
Puglia	1.530	187	34	50.558	52.275	20.364	2.012	74.651	1.023	599.964	910.661	10.163
Liguria	768	71	3	7.276	8.115	45.234	2.694	56.043	202	307.046	655.617	3.899
Friuli Venezia Giulia	654	56	3	17.219	17.929	22.092	1.299	41.320	829	315.194	828.919	9.766
Marche	467	78	3	11.345	11.890	21.882	1.428	35.200	228	269.841	460.780	3.356
Abruzzo	601	59	3	13.807	14.467	16.836	1.072	32.375	100	255.645	467.336	1.917
P.A. Bolzano	208	24	0	10.398	10.630	15.653	657	26.940	88	155.855	337.081	1.079
Sardegna	570	58	5	14.756	15.384	10.753	600	26.737	231	356.775	426.556	3.604
Umbria	288	46	7	4.226	4.560	21.323	535	26.418	179	238.473	460.748	4.334
Calabria	335	21	2	8.766	9.122	10.616	399	20.137	175	386.457	400.303	803
P.A. Trento	412	53	3	2.242	2.707	15.344	795	18.846	377	145.529	414.855	1.722
Basilicata	106	11	0	6.042	6.159	3.182	212	9.553	62	167.550	168.405	922
Valle d'Aosta	74	6	0	447	527	6.022	356	6.905	20	35.559	58.718	342
Molise	59	8	0	2.591	2.658	2.934	166	5.758	37	96.673	104.921	606
<b>TOTALE</b>	<b>27.342</b>	<b>3.003</b>	<b>199</b>	<b>636.958</b>	<b>667.303</b>	<b>1.137.416</b>	<b>65.857</b>	<b>1.870.576</b>	<b>14.844</b>	<b>14.085.459</b>	<b>24.482.190</b>	<b>162.880</b>

Note:

La Regione Campania al momento non ha a disposizione i dati quotidiani sugli ingressi in T.I.  
La Regione Emilia Romagna comunica che in seguito a verifica sui dati comunicati nei giorni passati sono stati eliminati 5 casi in quanto giudicati non casi COVID-19



# Comunicazione nazionale



## Conferenze stampa giornaliere della Protezione Civile durante la prima ondata





# Comunicazione regionale



Vincenzo De Luca is sharing a COVID-19 Update. 16h · 🌐

## COVID-19, IL BOLLETTINO ORDINARIO DELL'UNITÀ DI CRISI DELLA REGIONE CAMPANIA

Questo il bollettino di oggi:

- Positivi del giorno: 647
- di cui:
- Asintomatici: 579
- Sintomatici: 68
- Tamponi del giorno: 8.441
- Totale positivi: 175.700
- Totale tamponi: 1.830.136
- Deceduti: 50 (\*)
- Totale deceduti: 2.390
- Guariti: 3.025
- Totale guariti: 83.068

\* 22 deceduti nelle ultime 48 ore e 28 deceduti in precedenza ma registrati ieri

Report posti letto su base regionale:

- Posti letto di terapia intensiva disponibili: 656
- Posti letto di terapia intensiva occupati: 123
- Posti letto di degenza disponibili: 3.160 (\*\*)
- Posti letto di degenza occupati: 1.720

\*\* Posti letto Covid e Offerta privata



## CORONAVIRUS LA SITUAZIONE IN CAMPANIA



	TEST	POSITIVI	SINTOMATICI	ASINTOMATICI	GUARITI	DECEDUTI
<b>OGGI</b>	8.441	647	68	579	3.025	50*
<b>TOTALE</b>	1.830.136	175.700			83.068	2.390

\* 22 deceduti nelle ultime 48 ore e 28 deceduti in precedenza ma registrati ieri

POSTI LETTO	TERAPIA INTENSIVA	DEGENZA
DISPONIBILI	656	3.160**
OCCUPATI	123	1.720

\*\* Posti letto Covid e Offerta privata

BOLLETTINO DEL 15 DICEMBRE 2020 AGGIORNATO ALLE ORE 23:59 DEL 14 DICEMBRE 2020

Dati ufficiali dell'Unità di Crisi Regionale per la realizzazione di misure per la prevenzione e gestione dell'emergenza epidemiologica da COVID-19





#Side **24 ORE** **Lab24** in tw f

- Come leggere i dati
- Cosa ha scoperto la scienza
- Com'è nata la pagina
- Approfondimenti
- La timeline

## Coronavirus in Italia, i dati e la mappa

Aggiornato al 11 DICEMBRE 2020. Variazioni rispetto al giorno precedente. Dati e formule scaricabili sotto i grafici

NUOVI CASI	MORTI	DIMESSI/GUARITI	ATTUALMENTE POSITIVI	TERAPIA INTENSIVA	RICOVERATI CON SINTOMI	ISOLAMENTO DOMICILIARE
<b>+18.727</b>	<b>+761</b>	<b>+24.169</b>	<b>-6.204</b>	<b>-26</b>	<b>-526</b>	<b>-5.652</b>
+1,05%	+1,22%	+2,35%	-0,89%	-0,79%	-1,81%	-0,85%
<b>Totali 1.805.873</b>	<b>Totali 63.387</b>	<b>Totali 1.052.163</b>	<b>Totali 690.323</b>	<b>Totali 3.265</b>	<b>Totali 28.562</b>	<b>Totali 658.496</b>

### Cosa dicono oggi i numeri

In data 11 dicembre l'incremento nazionale dei casi è +1,04% (ieri +0,96%) con 1.805.873 contagiati totali, 1.052.163... [Continua a leggere](#) ▼



### La mappa del coronavirus in Italia e nel mondo





# Cosa ci dicono i bollettini?

- **I numeri da soli non aiutano a capire la situazione**
  - Ieri 14.839 nuovi positivi: sono molti o pochi?
  - 3.003 posti occupati in terapia intensiva: è grave?
- **I numeri «ballano» da un giorno all'altro**
  - Un giorno i contagi aumentano, l'altro diminuiscono
  - Che sta succedendo «veramente»?
- **Non è facile capire le tendenze**
  - Dove stiamo andando? Quali misure prendere?
- **Non è immediato il confronto tra regioni**
  - Es.: popolazione diversa
  - Meglio confrontare il n. di casi/100.00 abitanti
- **La stima di ogni indicatore ha sempre un'incertezza**
  - ...ma l'incertezza sparisce quasi sempre sui media



- **Affermazioni contraddittorie, questioni mal poste**

- Liti in diretta, opinioni personali che prevalgono sui fatti

- *« Due infetti insieme contagiano una persona »*
- *« Il virus è clinicamente morto »*
- *« Ma perché dovrebbe esserci una seconda ondata di contagi? »*
- *« Non direi che è in corso una crescita esponenziale »*
- *« Ridurre l'ipertrofica fiducia nella matematica »*

[Home](#) » [Cronaca](#)

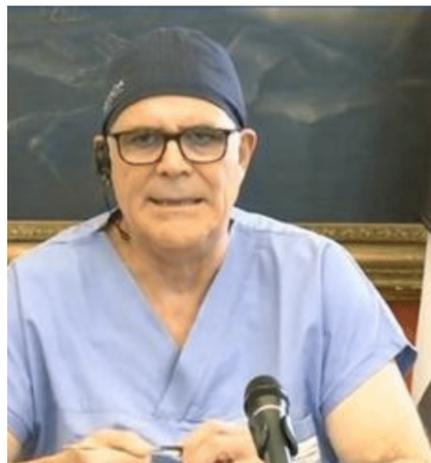
## Zangrillo contro Galli: "Ex sessantottino, mi denunci". La replica: "È un problema suo" | VIDEO

Scontro tra i due esperti: "Galli ha un'antica militanza sessantottina di cui si vanta. Mi accusa, ora mi denunci", dice Zangrillo. La replica: "Se pensa di essere stato attaccato è un problema suo"

Di [Anna Ditta](#)

Publicato il 28 Ott. 2020 alle 07:48

Aggiornato il 28 Ott. 2020 alle 07:52



- Molti hanno scarsa fiducia verso le comunità di riferimento
  - Politici, medici, scienziati, ...
  - Ma quali «scienziati» ascoltare?
- Proliferano negazionisti, complottisti e bufale
  - Virus artificiale, 5G, cure improbabili che hanno fatto male a qualcuno, ...





# Perché analizzare i dati covid-19?

- I dati pubblicati da soli non sono sufficienti a dare un'idea chiara della situazione e dell'evoluzione del fenomeno
- **L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare** ha deciso di sviluppare un sito web che offre una visualizzazione dei dati e gli andamenti di alcuni indicatori

**[covid19.infn.it](https://covid19.infn.it)**



# Il sito covid19.infn.it



- Presentazione della situazione attuale con indicatori e strumenti statistici
- Oltre 3000 grafici
- Aggiornato automaticamente ogni giorno dopo le 17:00
- Usiamo dati pubblici:
  - Italia: Dip. Protezione Civile  
<https://github.com/pcm-dpc/COVID-19>
  - Estero: Johns Hopkins University  
<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
- Non vogliamo fare previsioni
- Non abbiamo dati più dettagliati che ha invece a disposizione l'ISS che da poco ne ha pubblicati una parte

COVIDSTAT



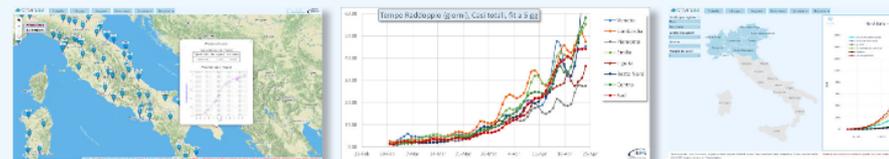
## COVIDSTAT INFN

### Contenuti

- Aggiornamento quotidiano con i dati della **Protezione Civile**
- Mappe interattive nazionali, regionali e provinciali
- Analisi statistica degli andamenti e dei principali indicatori
- Più di 2000 grafici
- Contenuti interattivi
- Dati scaricabili (in formato ROOT)
- Programmi in C++ e python

### Il Progetto

È un progetto realizzato dal **Gruppo di Lavoro CovidStat INFN**, la cui costituzione è stata promossa in seno all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare con l'obiettivo di mettere a disposizione dell'Unità di Crisi Covid19 interna all'INFN una **analisi statistica dei dati forniti quotidianamente dalla Protezione Civile sulla diffusione della pandemia in Italia**. Parallelamente questo sito è connesso al deposito dei prodotti scientifici dell'INFN in modalità **Open Science** aperto a contributi scientifici da parte di ricercatori di altre discipline.





**Facciamo un po' di ordine**



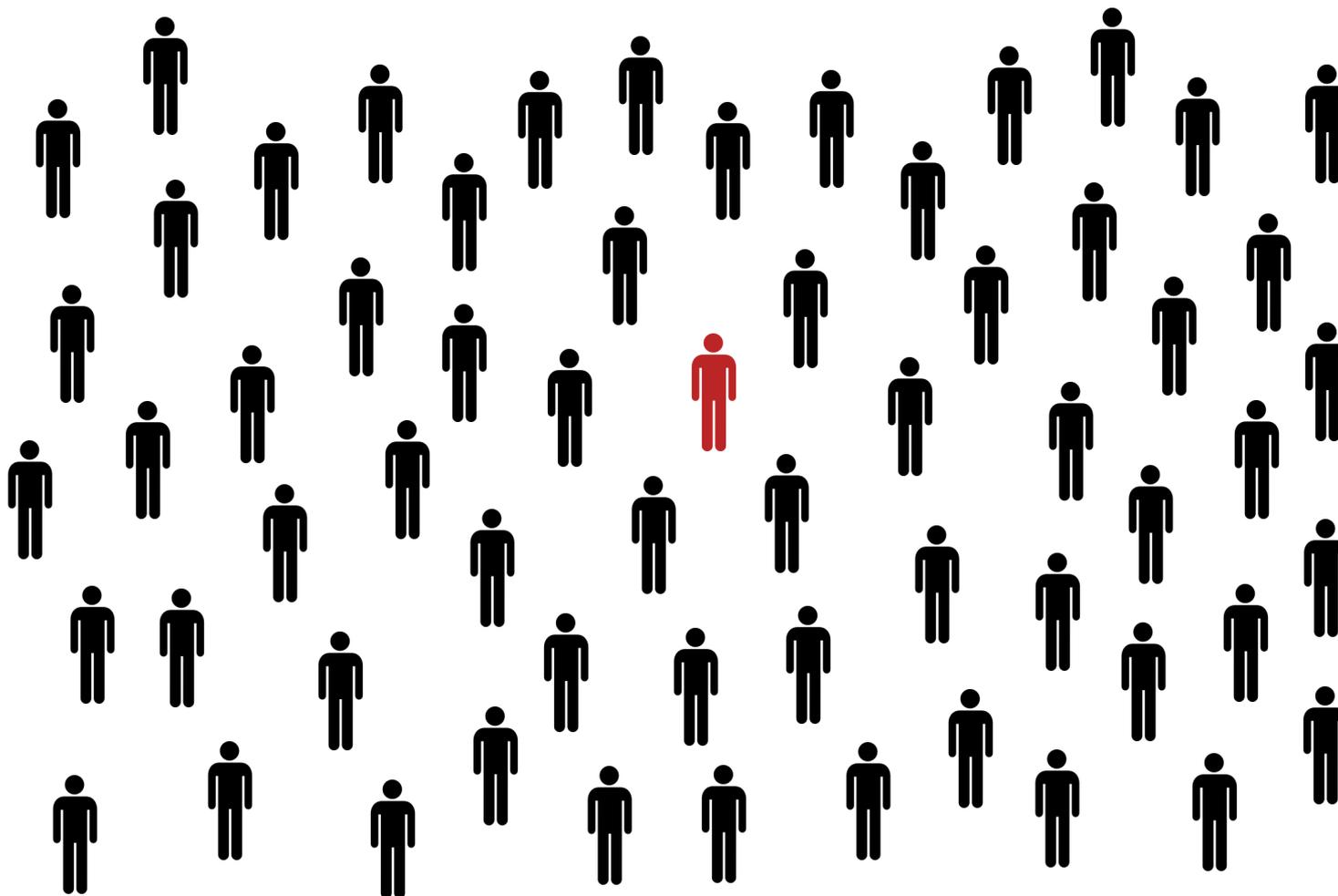
# Come si trasmette il virus

- **I virus si trasmettono** attraverso alcuni meccanismi biologici
  - Sars-Cov-2, come l'influenza, **si trasmette per via aerea**
- Una persona infetta contagia ***in media*** un numero  **$R$**  di persone nel periodo di tempo in cui è contagiosa
  - **$R$**  è stimato tra 2 e 3 per il Sars-Cov-2 senza misure preventive
- Ciascuno infetto, a sua volta, ***in media***, infetta altre  **$R$**  persone
- Se  **$R < 1$**  l'infezione si spegne spontaneamente perché gli infetti guariscono (o muoiono) più rapidamente di quanto si diffonde il virus
- **Altrimenti...**



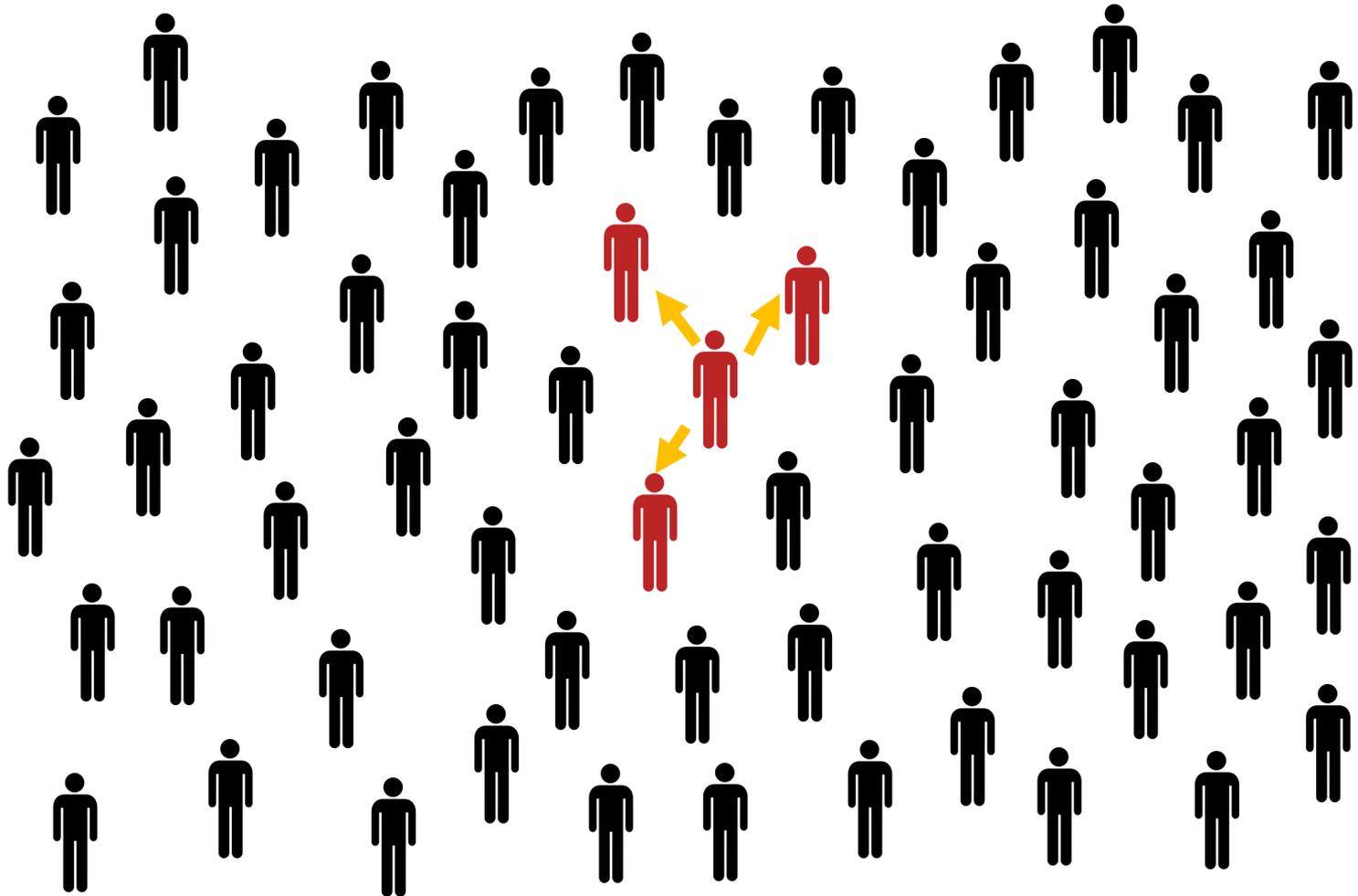


# Infetti: 1



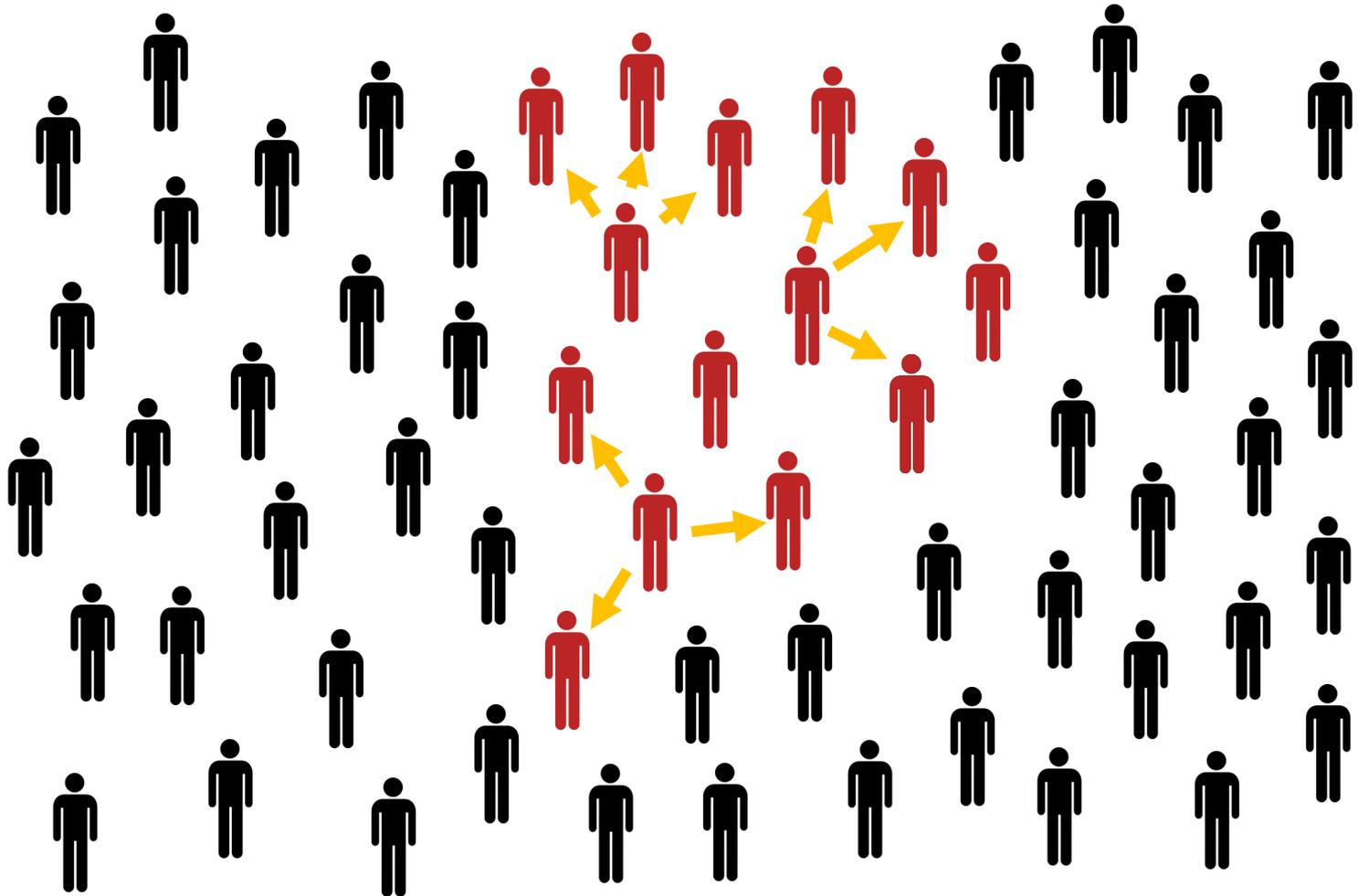


Infetti: 1 + 3 = 4



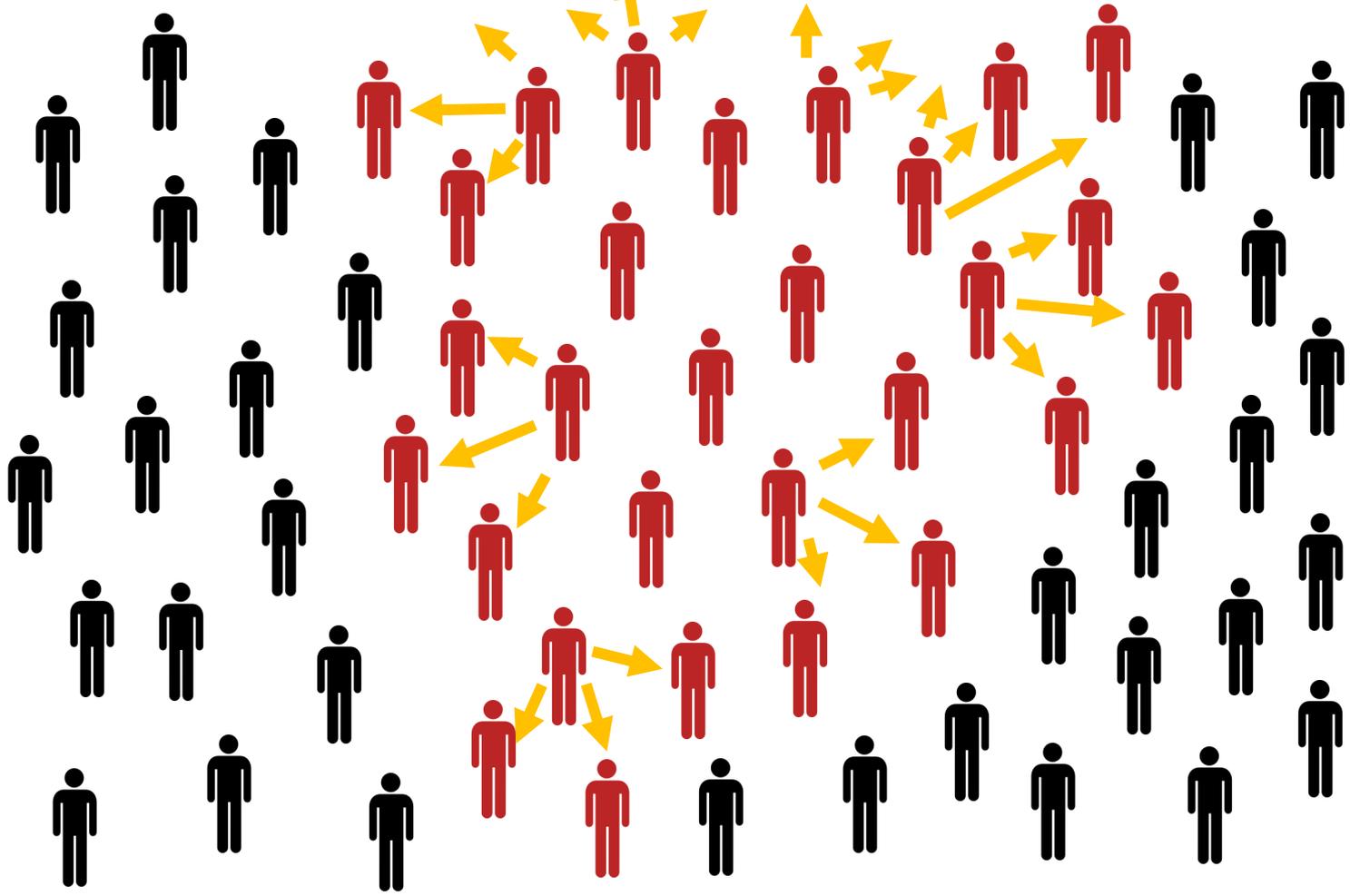


Infetti:  $1 + 3 + 3 \times 3 = 13$





Infetti:  $1 + 3 + 3 \times 3 + 3 \times 3 \times 3 = 40$



Ospedale americano, influenza «spagnola», 1918

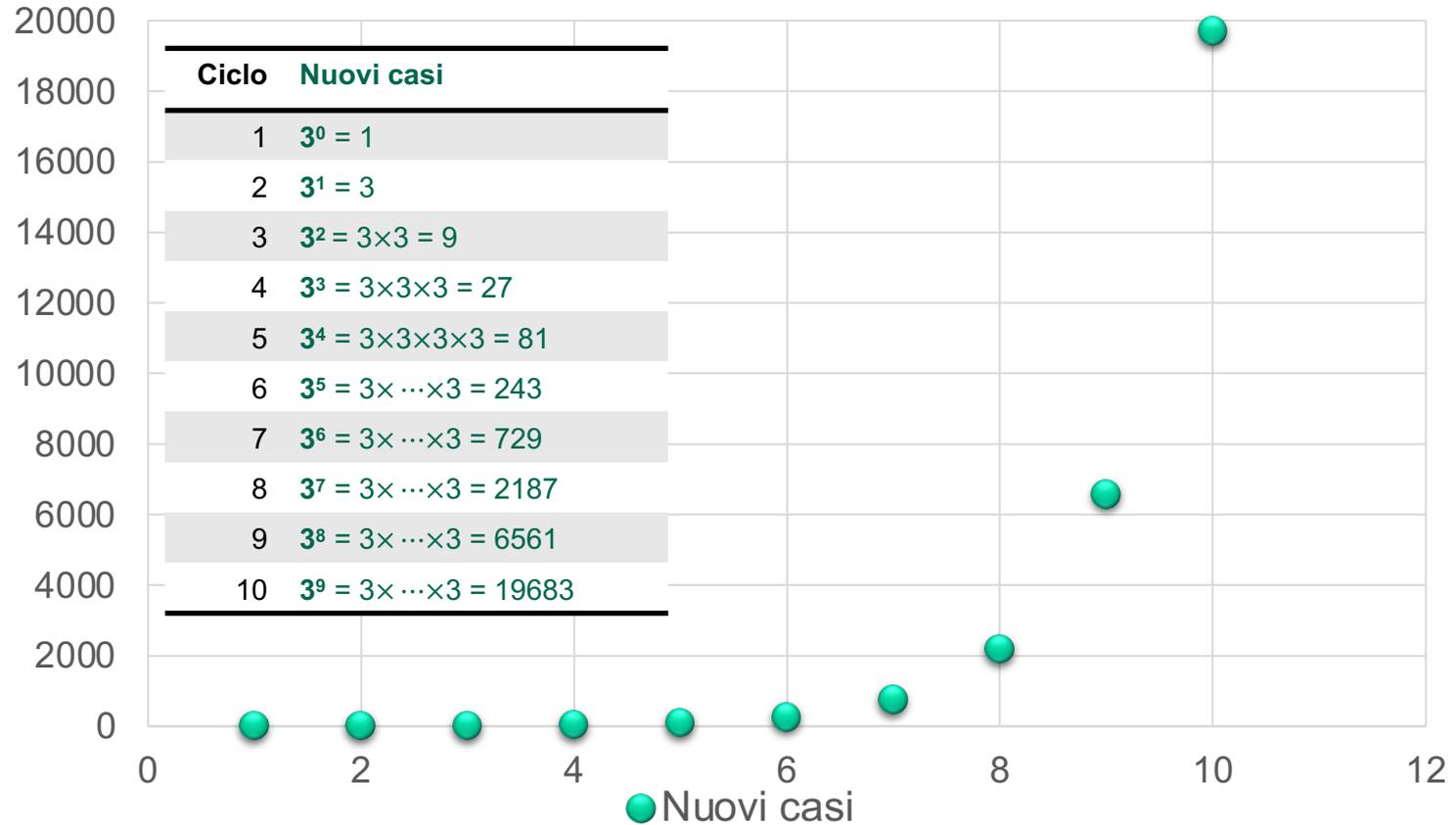




# Crescita esponenziale



## Nuovi casi

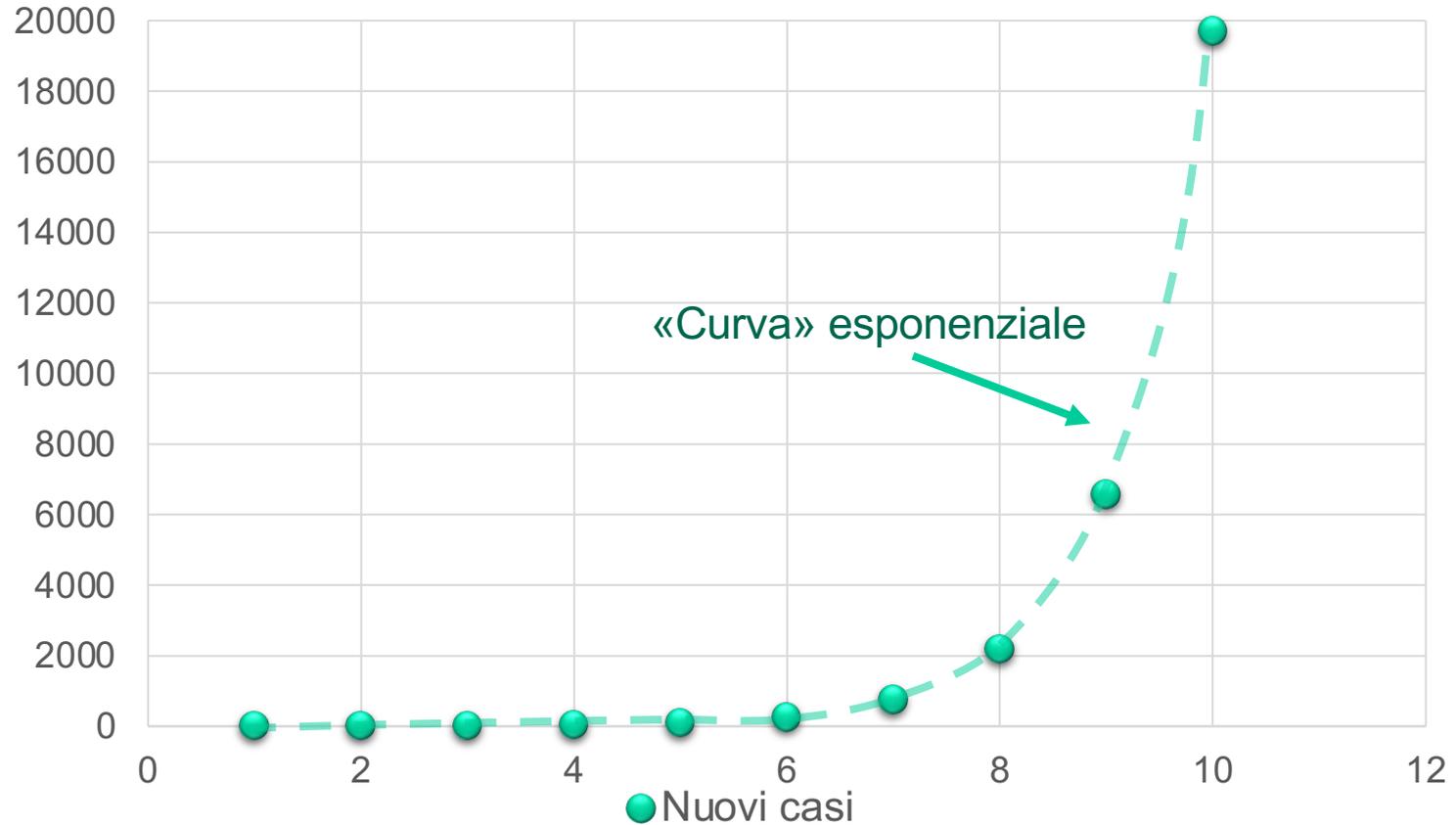




# Curva esponenziale



## Nuovi casi

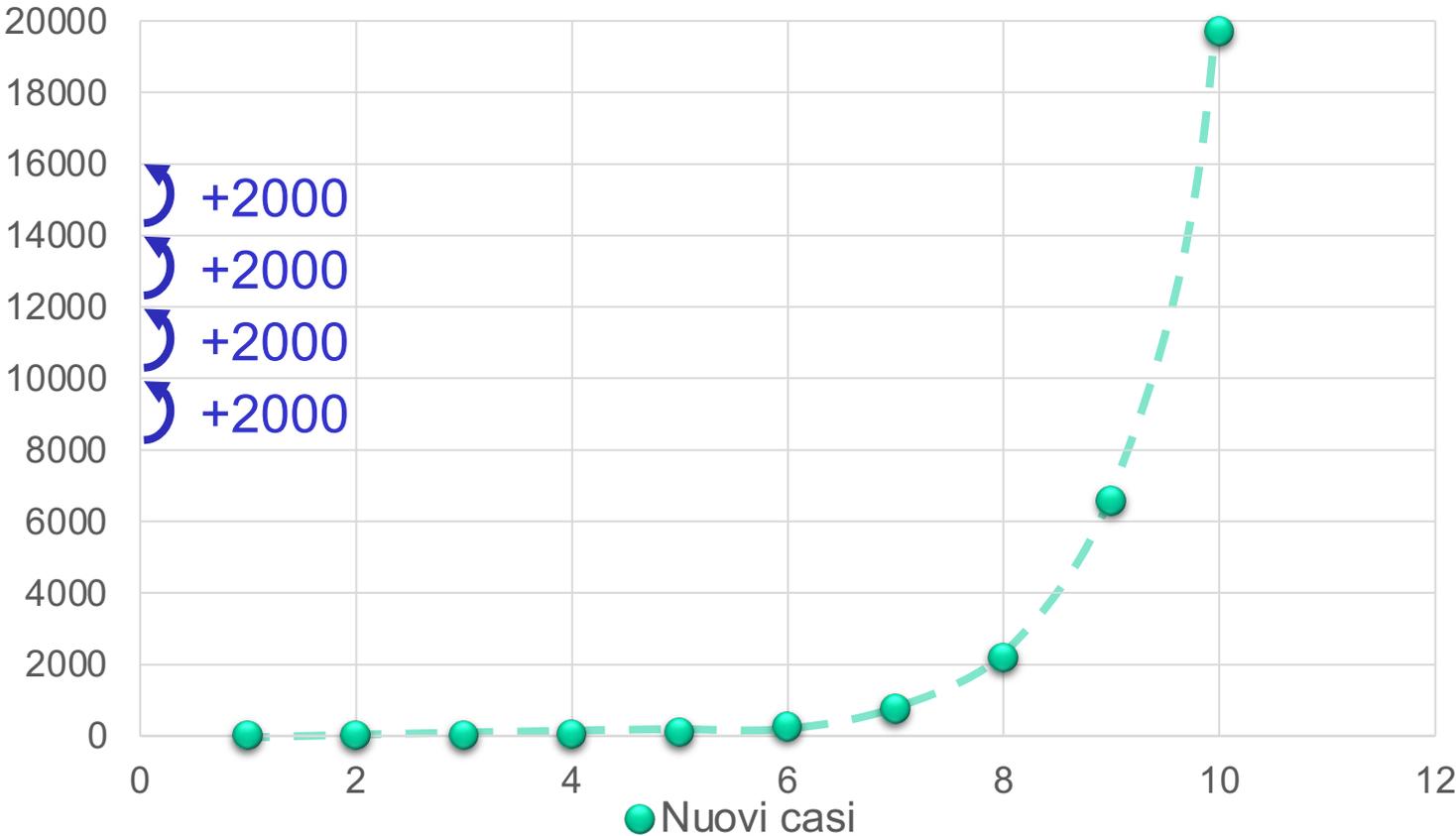




# Scala lineare

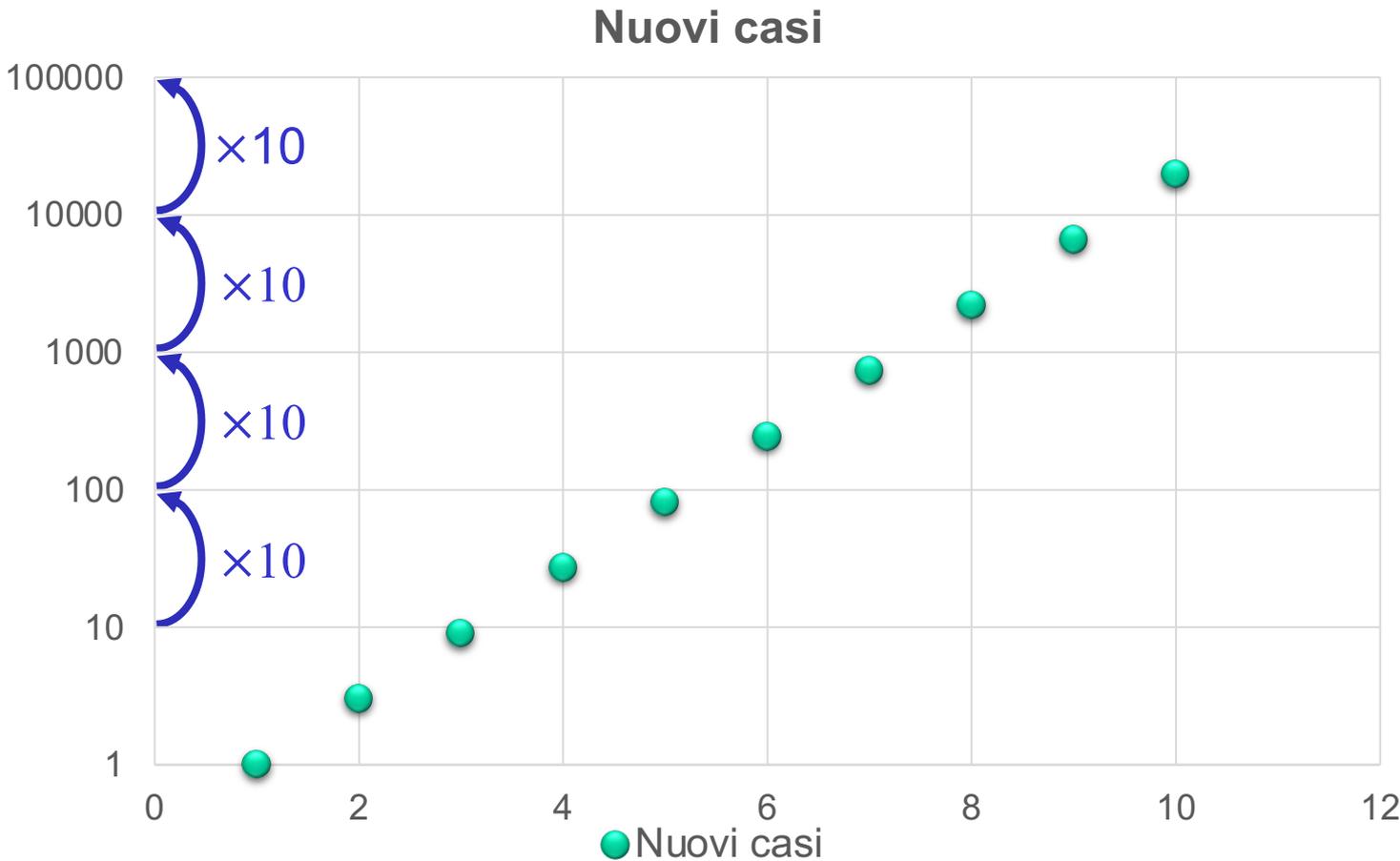


## Nuovi casi



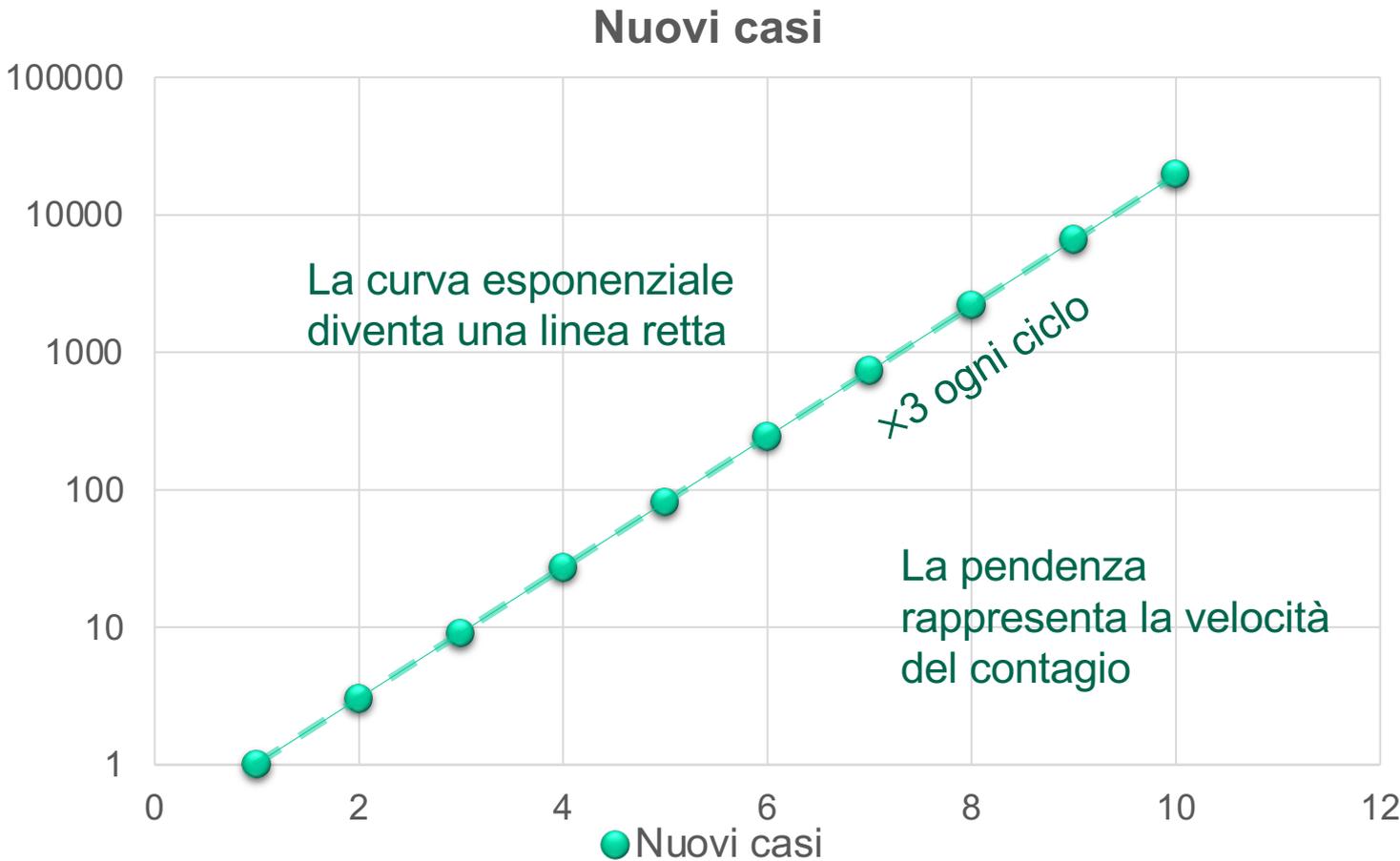


# La scala logaritmica





# Esponenziale in scala logaritmica





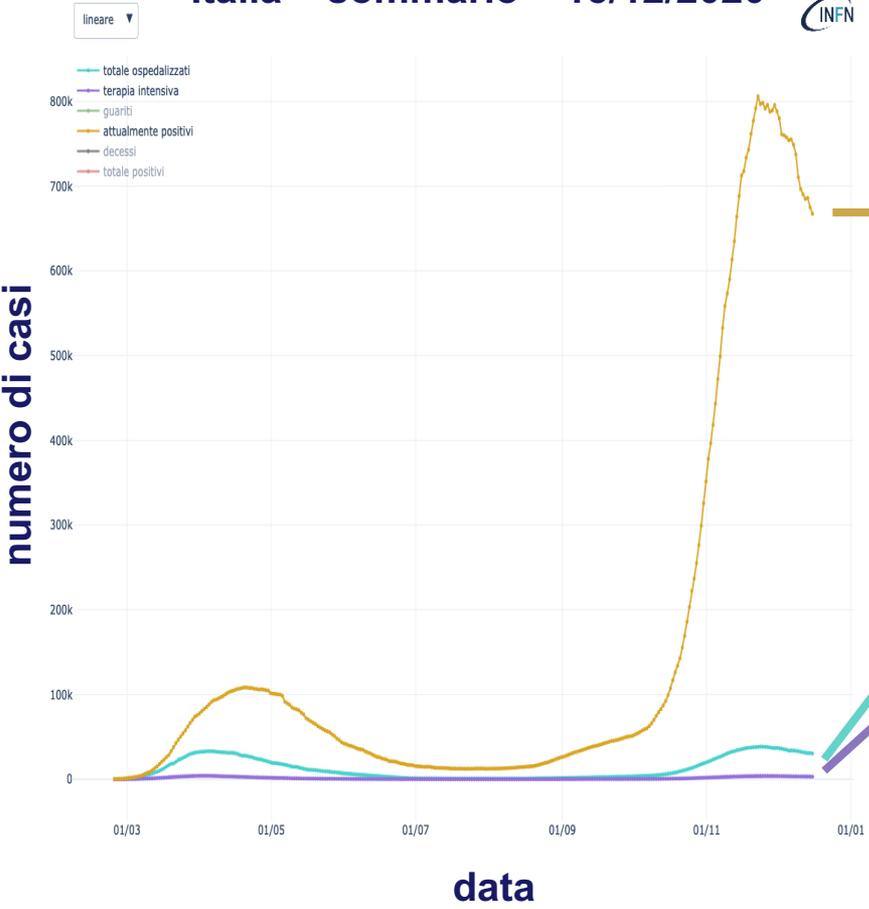
# Lineare vs logaritmica



### Italia – sommario – 15/12/2020



### Italia – sommario – 15/12/2020

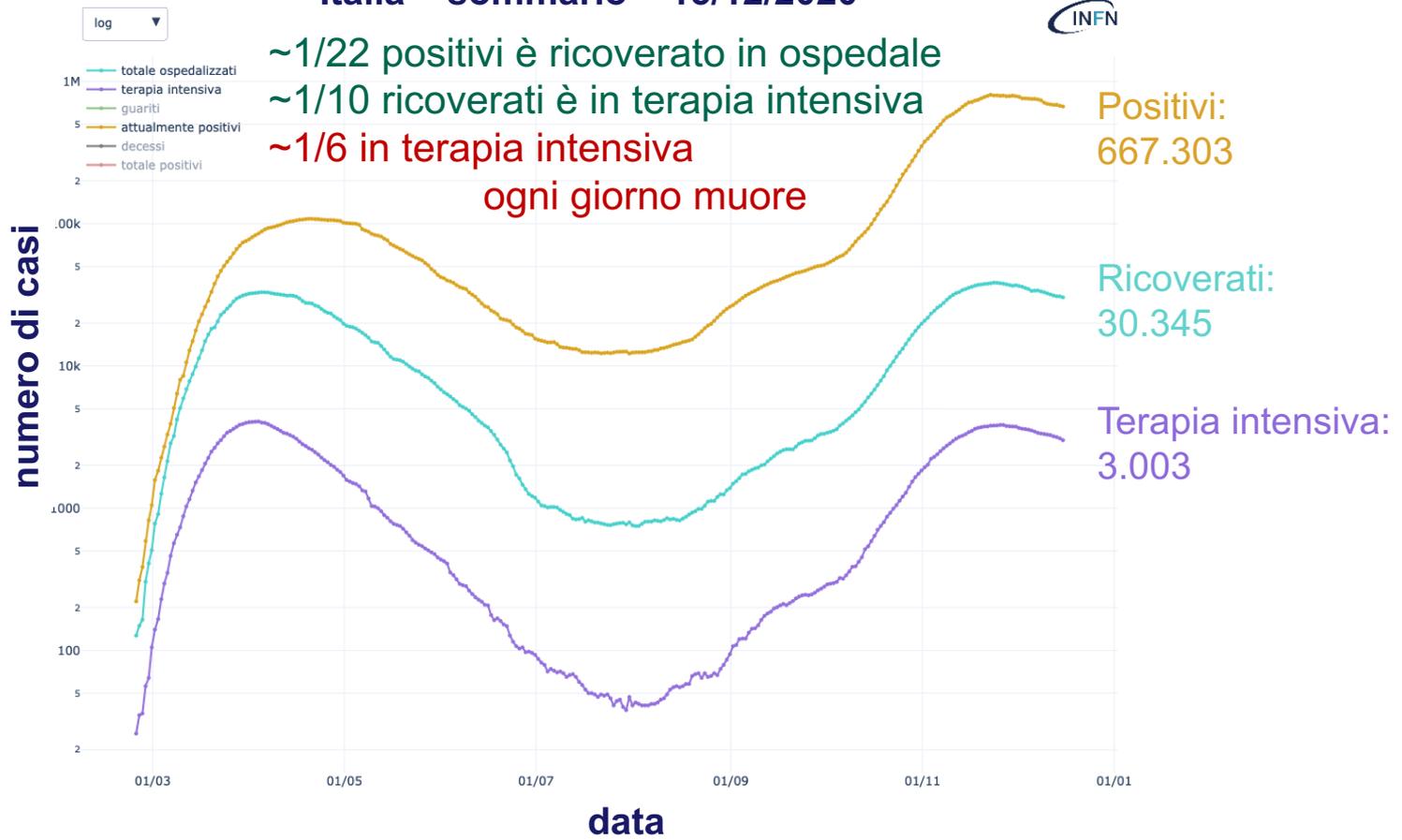




# Sommario - Italia



## Italia – sommario – 15/12/2020

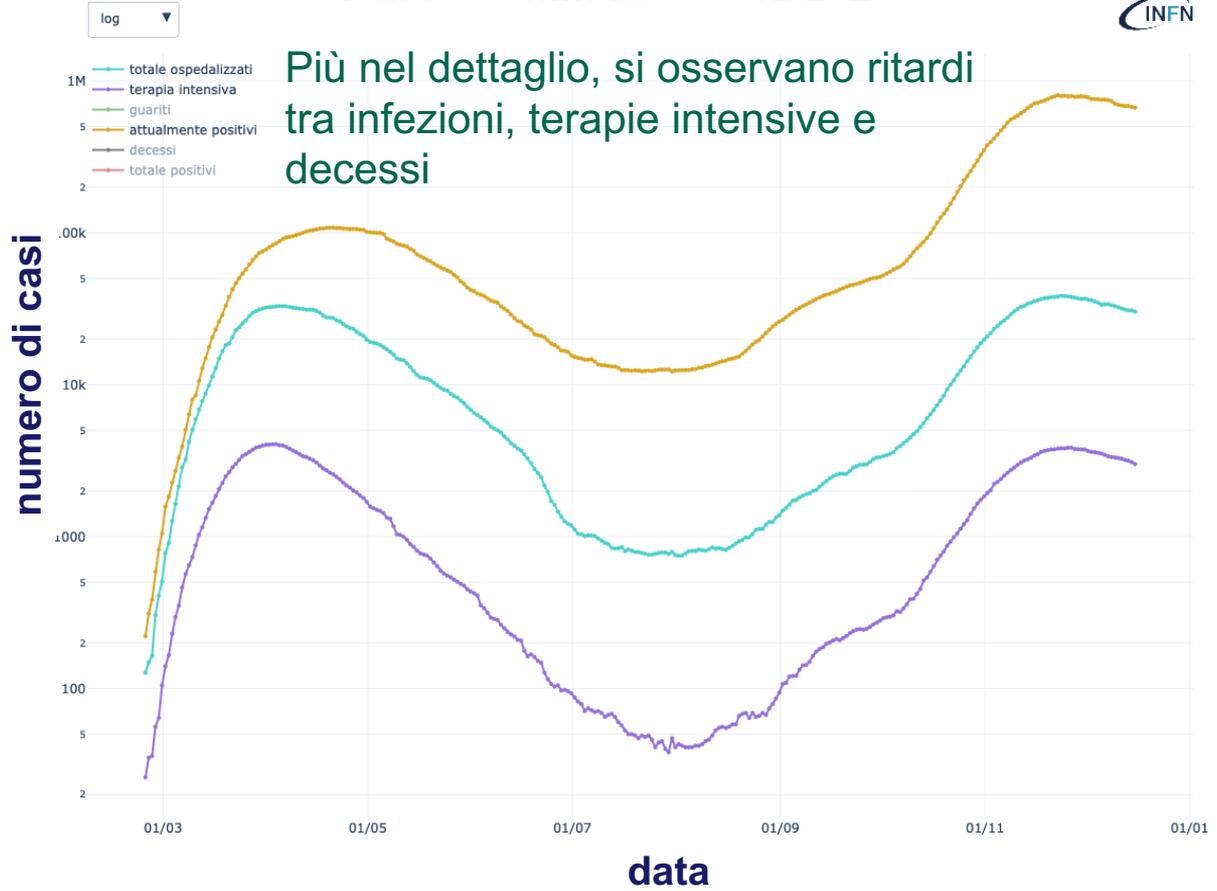




# Sommario - Italia



## Italia – sommario – 8/12/2020

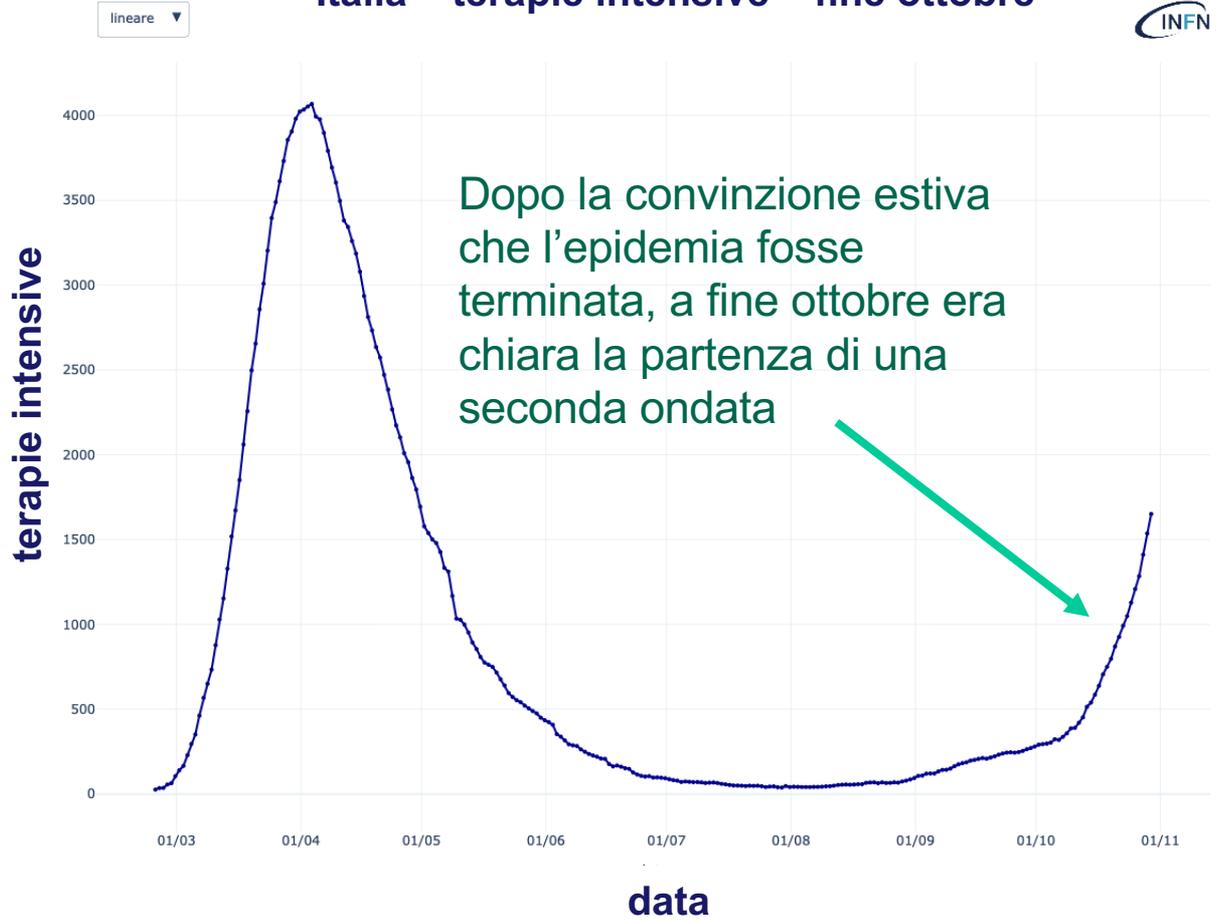




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre





# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre

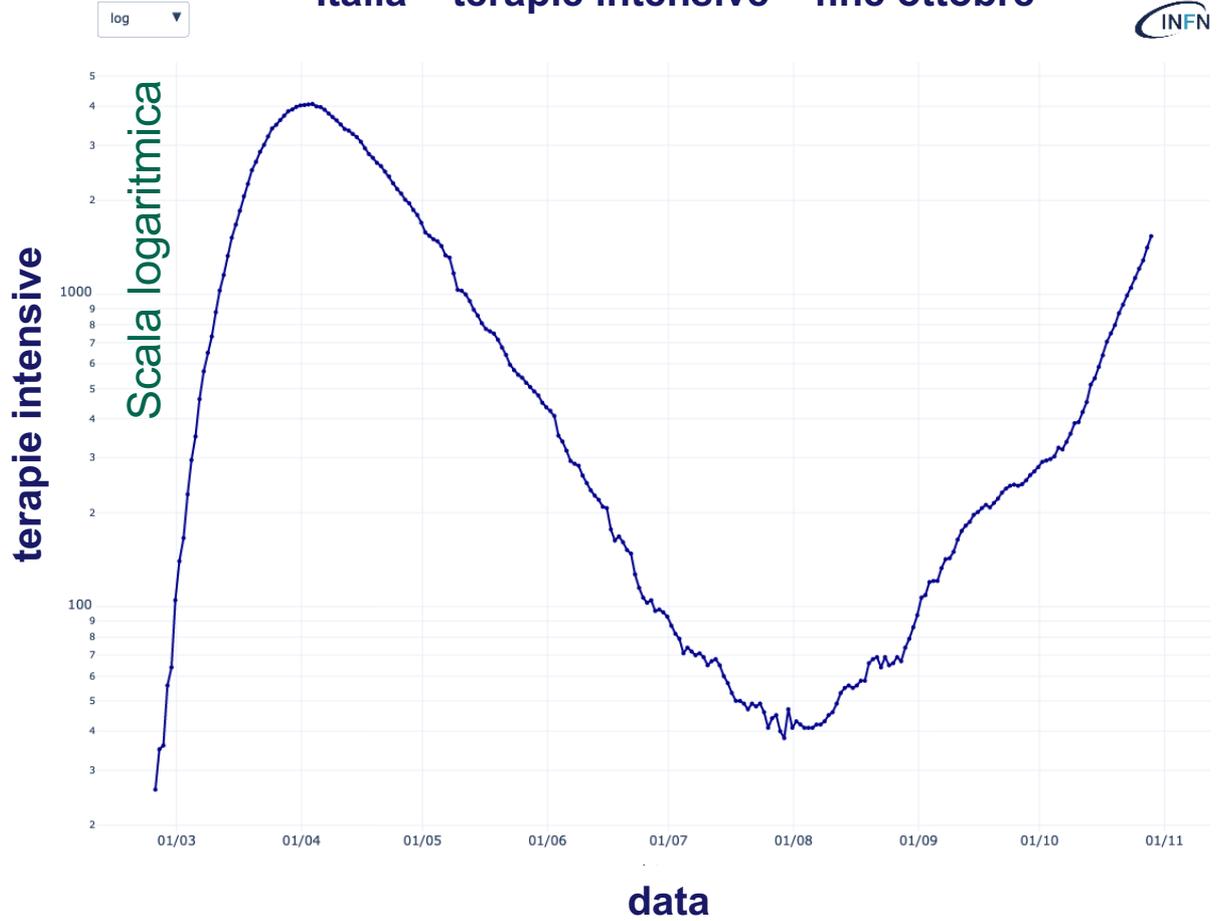




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre

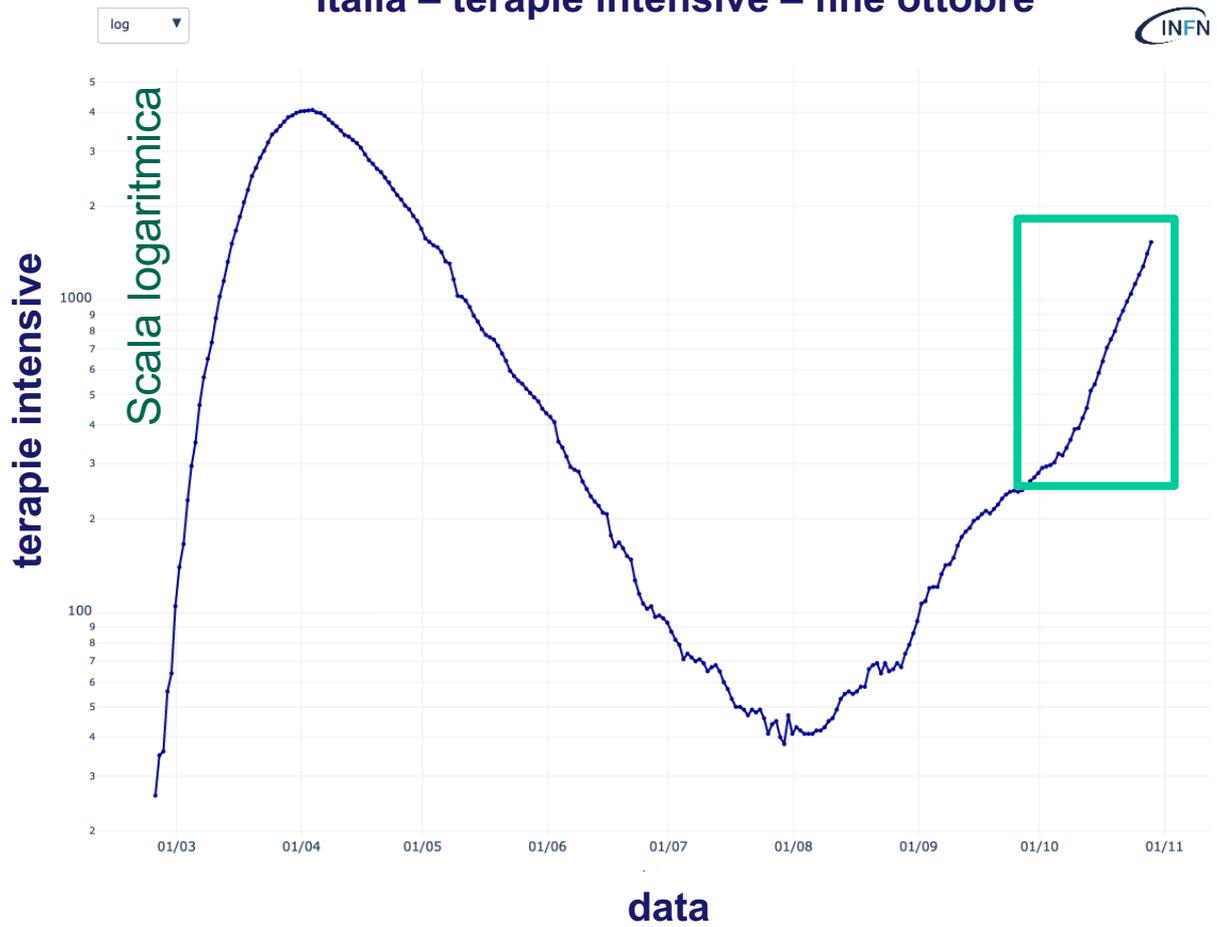




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre

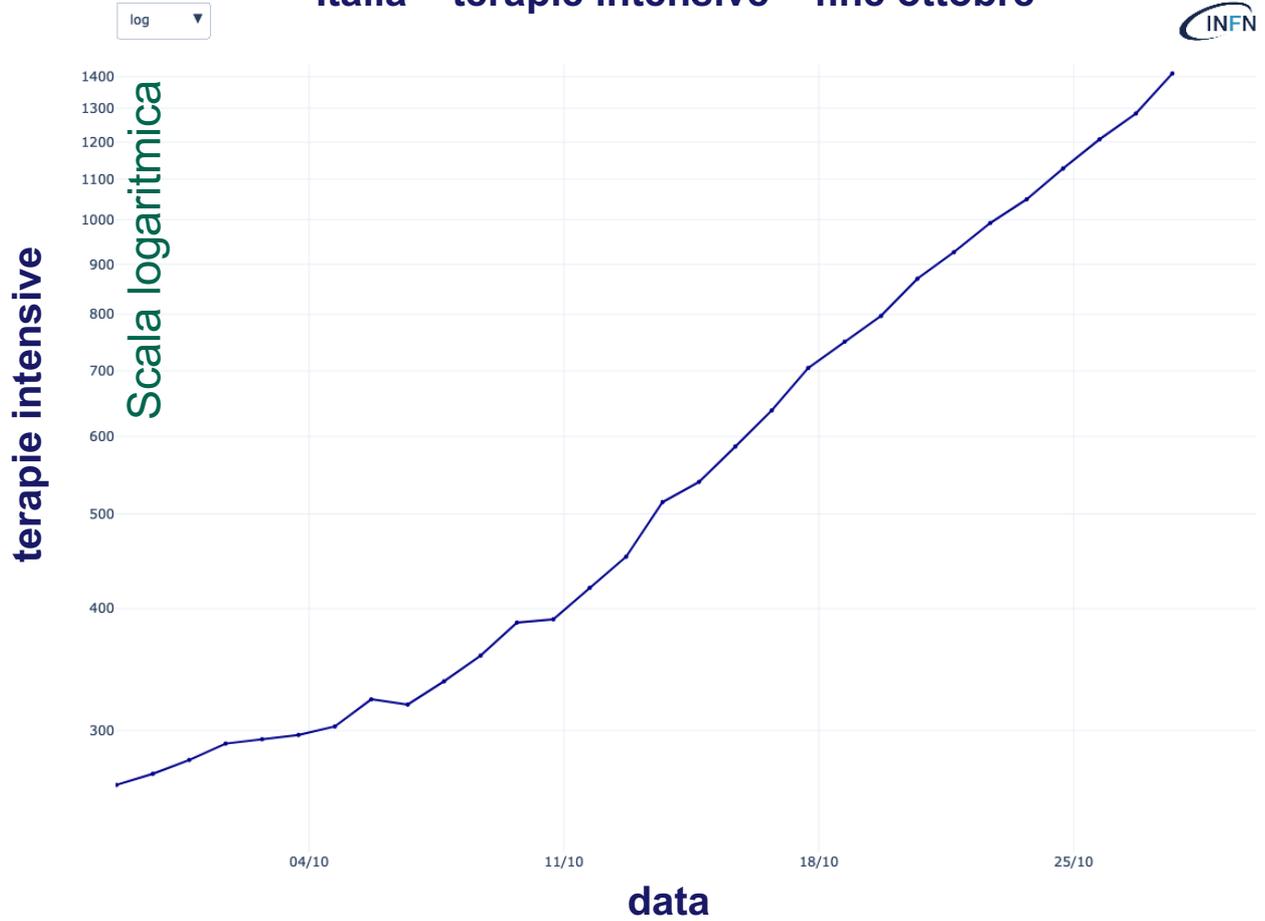




# Crescita delle terapie intensive, ottobre

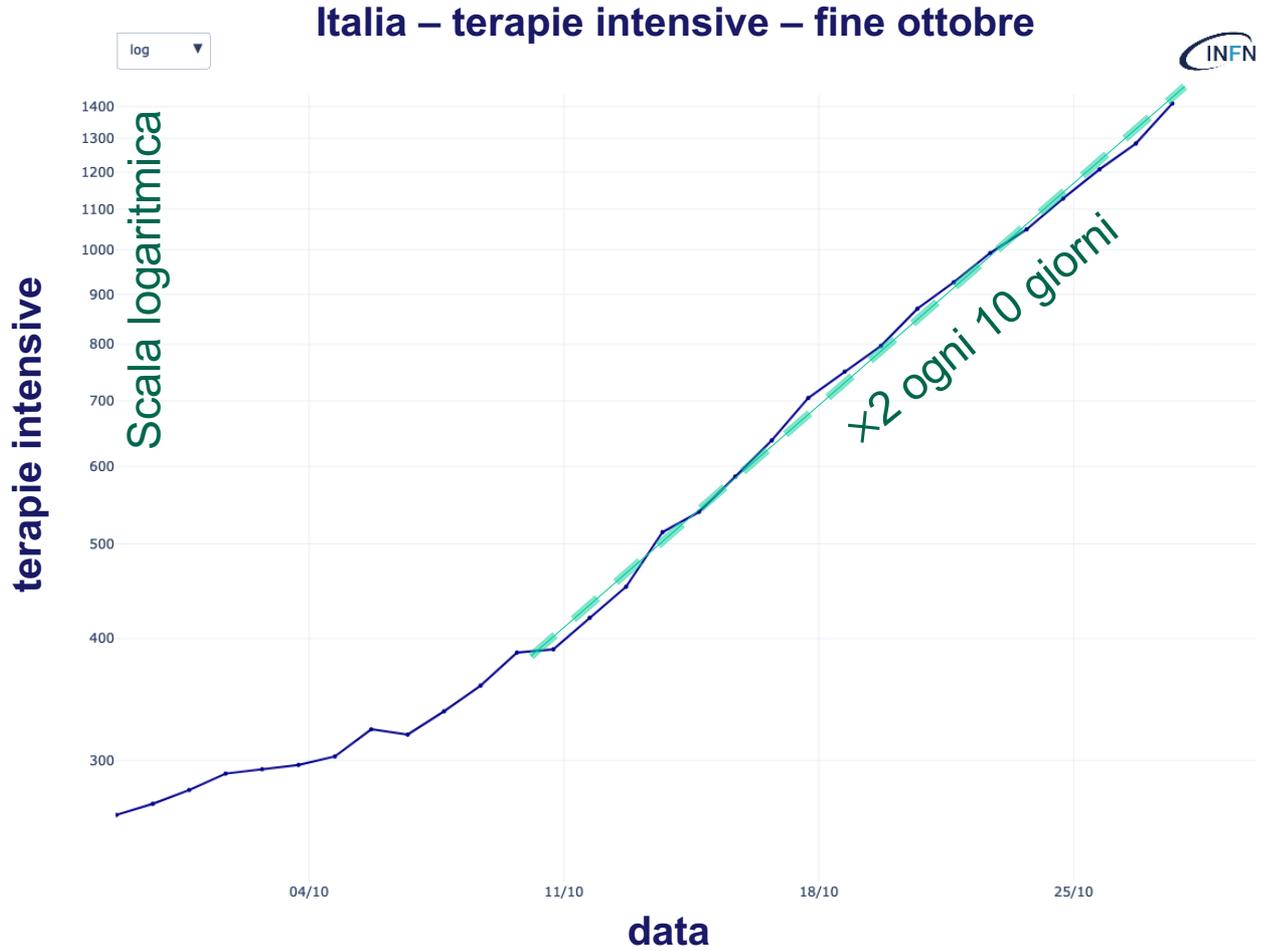


## Italia – terapie intensive – fine ottobre





# Crescita delle terapie intensive, ottobre

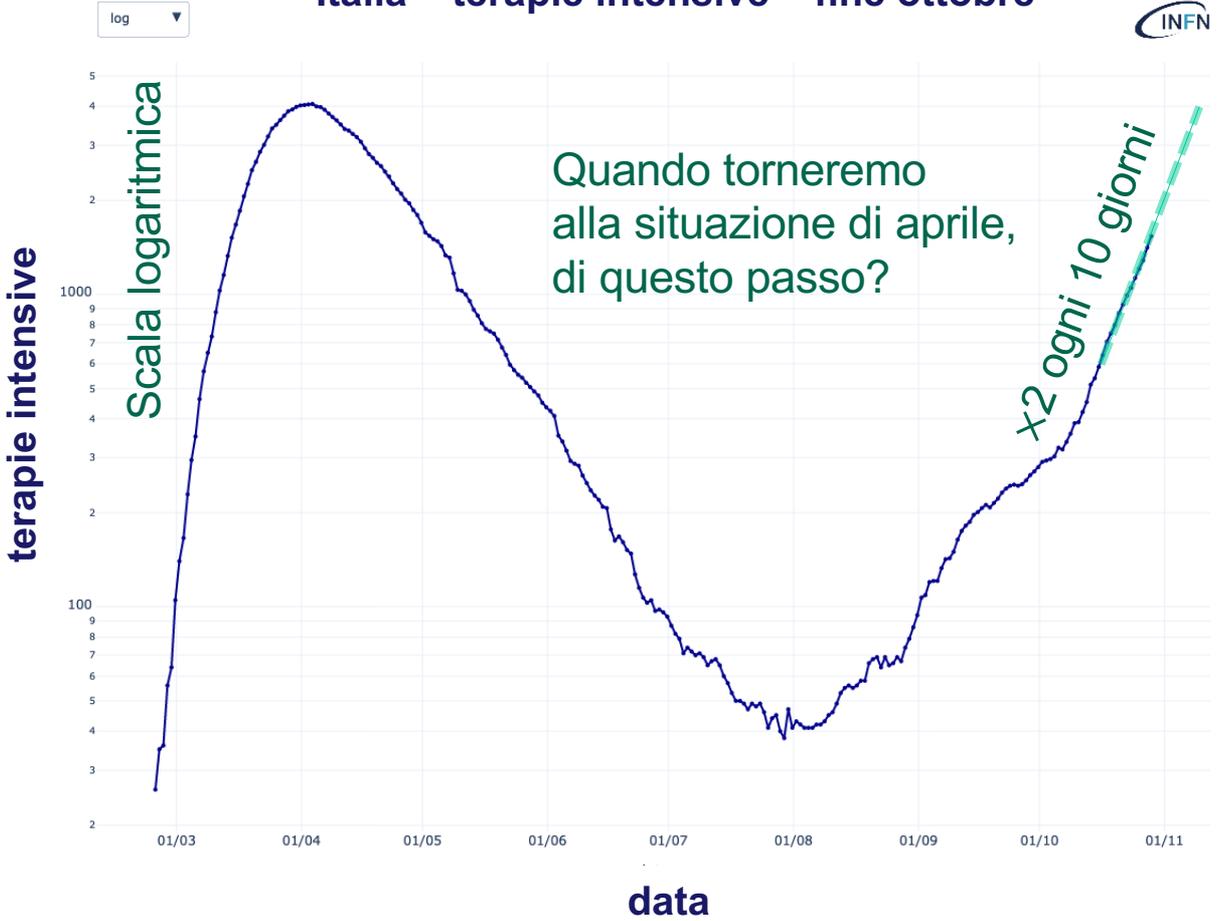




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre

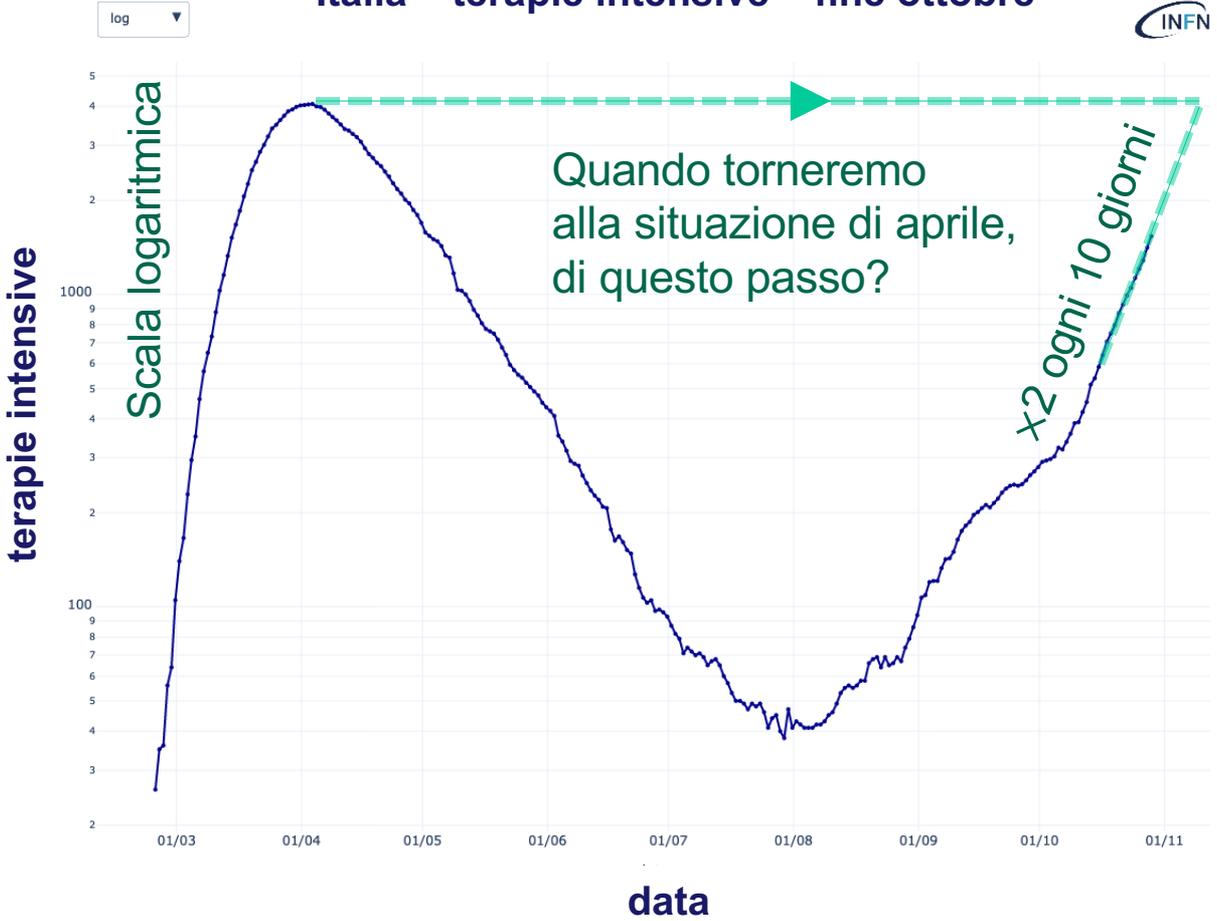




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



Italia – terapie intensive – fine ottobre

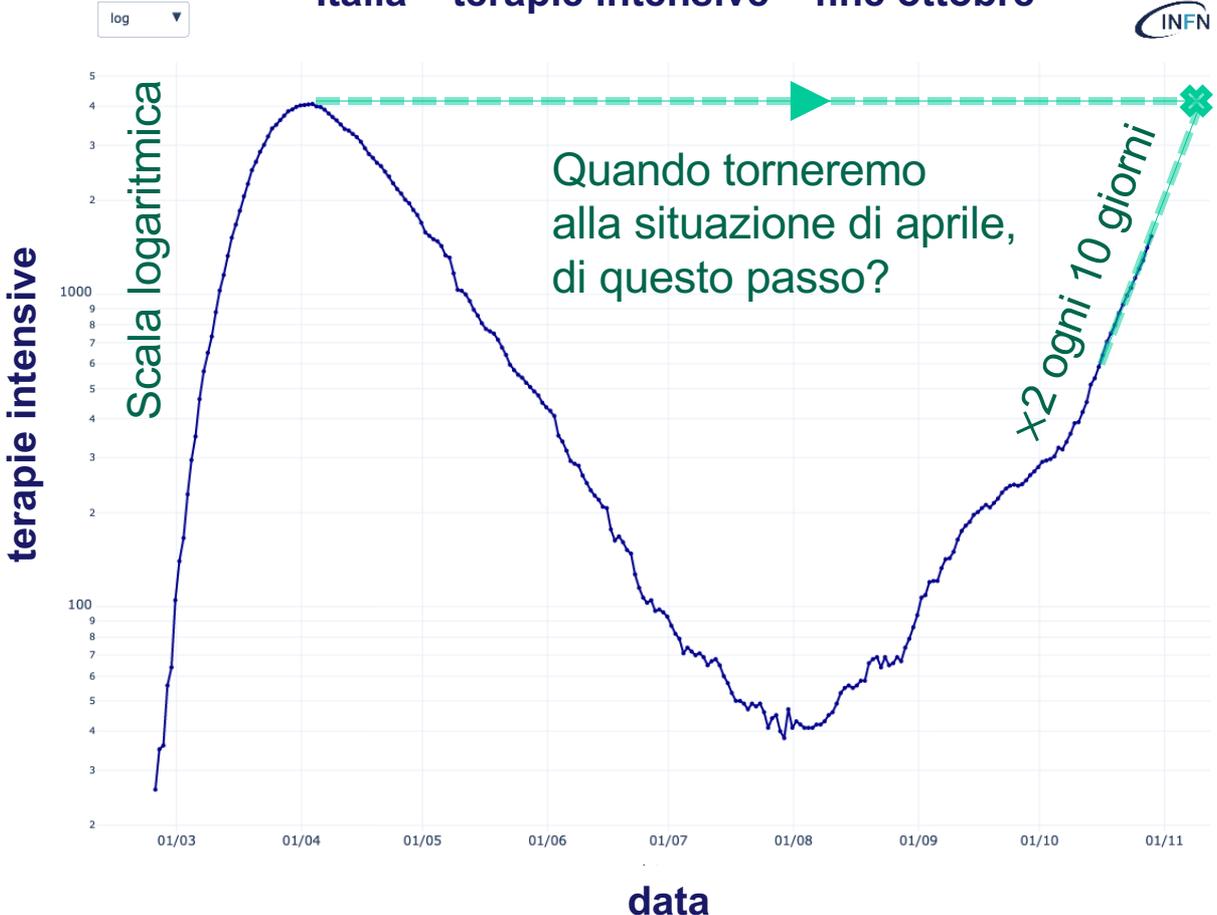




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre

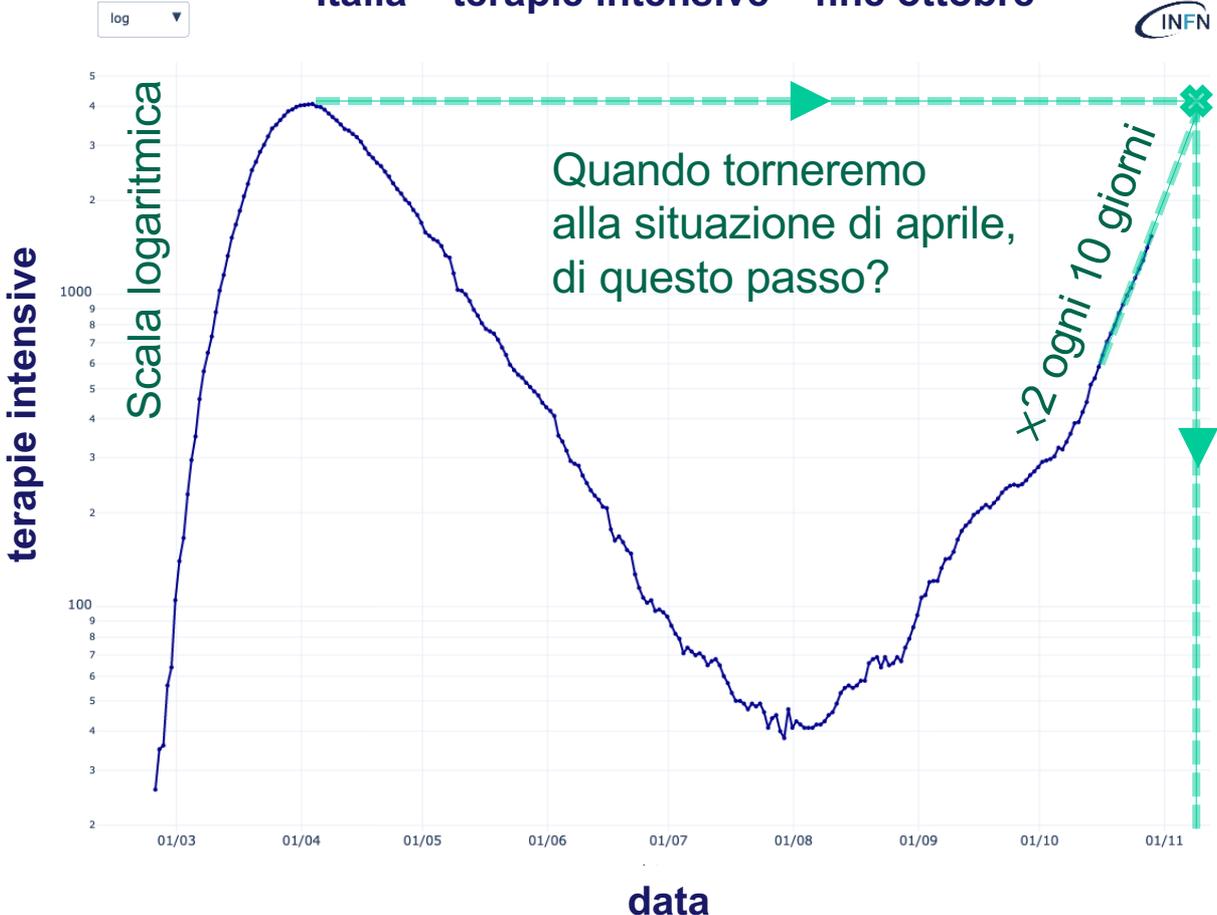




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre

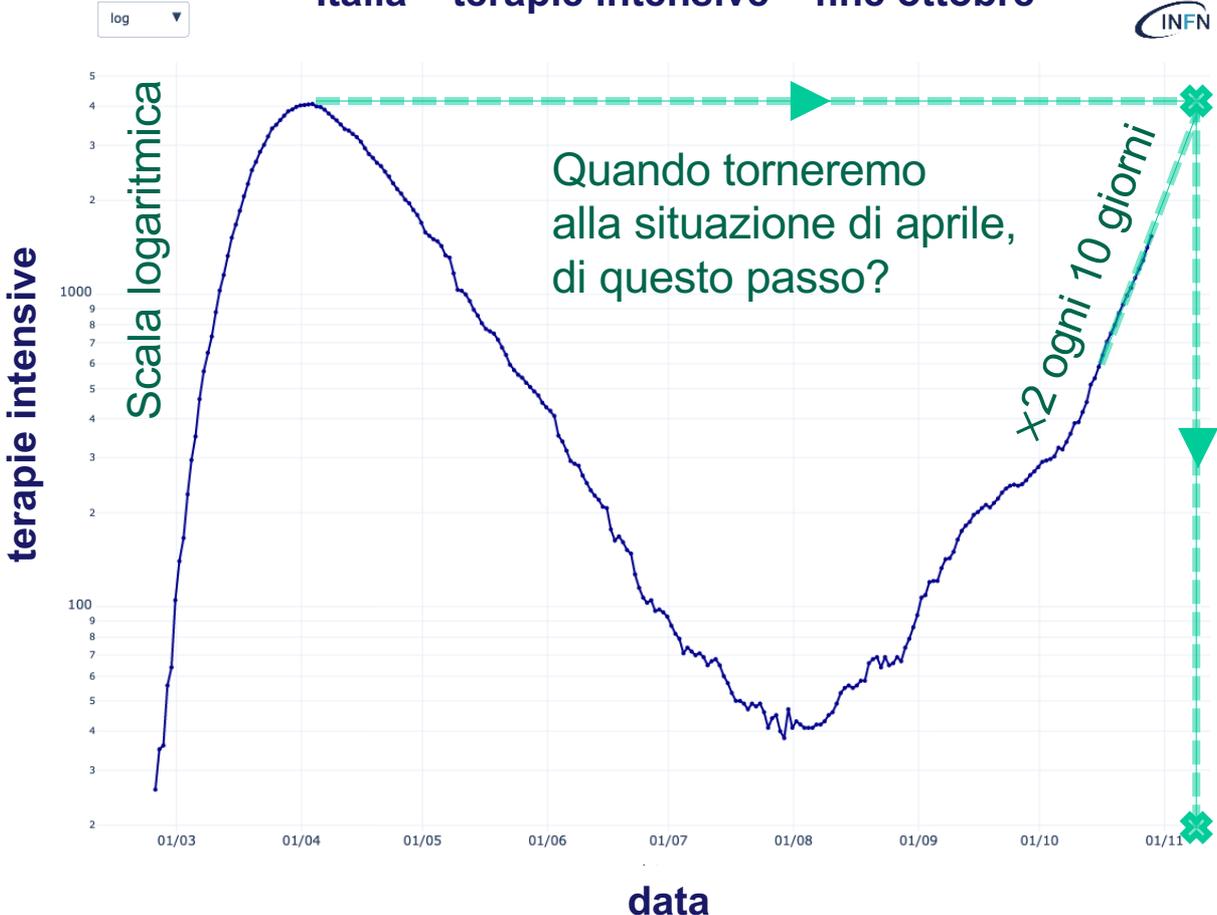




# Crescita delle terapie intensive, ottobre



## Italia – terapie intensive – fine ottobre





# Svizzera: piene le terapie intensive



☀️ 12° Lugano ▼

**CORRIERE DEL TICINO**

📄 ABBONATI 👤 ACCEDI

Ticino Sport Svizzera Mondo On The Spot Economia Cultura & Società Video Curiosità | Corriere5 | Coronavirus USA 2020

## «I letti certificati di terapia intensiva sono tutti occupati»

**CORONAVIRUS** / Grazie agli sforzi di équipe mediche in tutto il Paese, nuovi posti hanno potuto essere creati, ma la Società svizzera di medicina intensiva (SSMI) conferma le parole degli esperti nella conferenza di ieri: «La situazione è tesa»



18/11/2020



# Svezia: terapie intensive al 99%





**HUFFPOST**  
IN COLLABORAZIONE CON GEDI

CORONAVIRUS   USA 2020   LIFE   QUEST   BLOG   RICOSTRUIAMO   FUTURO   TERRA   Italia Edition

ESTERI 10/12/2020 13:22 CET

## Covid, Svezia al collasso: a Stoccolma terapie intensive piene al 99%

Appello a "non assembrarsi nei negozi per lo shopping di Natale, nei locali per un bicchiere dopo il lavoro anche se è quello che vogliamo fare. Le conseguenze sono orribili"

HuffPost



GETTY IMAGES

La seconda ondata di Covid-19 in Svezia sta avendo conseguenze devastanti. Secondo quanto riferito dal direttore sanitario regionale, Bjorn Eriksson, nel corso di una conferenza stampa poi riportata dal quotidiano nazionale The Local Sweden, a Stoccolma il numero di posti letto in terapia intensiva è ormai

### TENDENZE



**Finisce l'era Cattelan: dopo 10 anni X Factor lo vince lui. Le pagelle della finale (di L. Piras)**



**Bettini: "In caso di crisi urne inevitabili". Renzi: "No, scommetto su altro"**



**Terapie intensive e indice Rt: problema Lombardia**



**Joe Biden e Kamala Harris incoronati "persone dell'anno" da Time**



**Si riapre a sorpresa la partita del Natale (di P. Salvatori)**



**Merkel chiude l'anno in bellezza: accordo fatto sul recovery fund (di A. Mauro)**

10/12/2020



# Nessuna crescita può essere infinita

- Col tempo diversi individui non sono più infetti: **muoiono** o **guariscono** e diventano immuni
  - Tutta la popolazione (o una buona parte) si infetta e sviluppa **immunità «di gregge»**. Ma non è detto che l'immunità duri a lungo
- L'epidemia può essere interrotta o rallentata in diversi modi:
  - Si introducono meccanismi per ridurre il contagio: **mascherine**, **lockdown**, ecc.
  - Un **vaccino** rende immune una buona parte della popolazione





# Terapie intensive, novembre



## Italia – terapie intensive – 18/11/2020

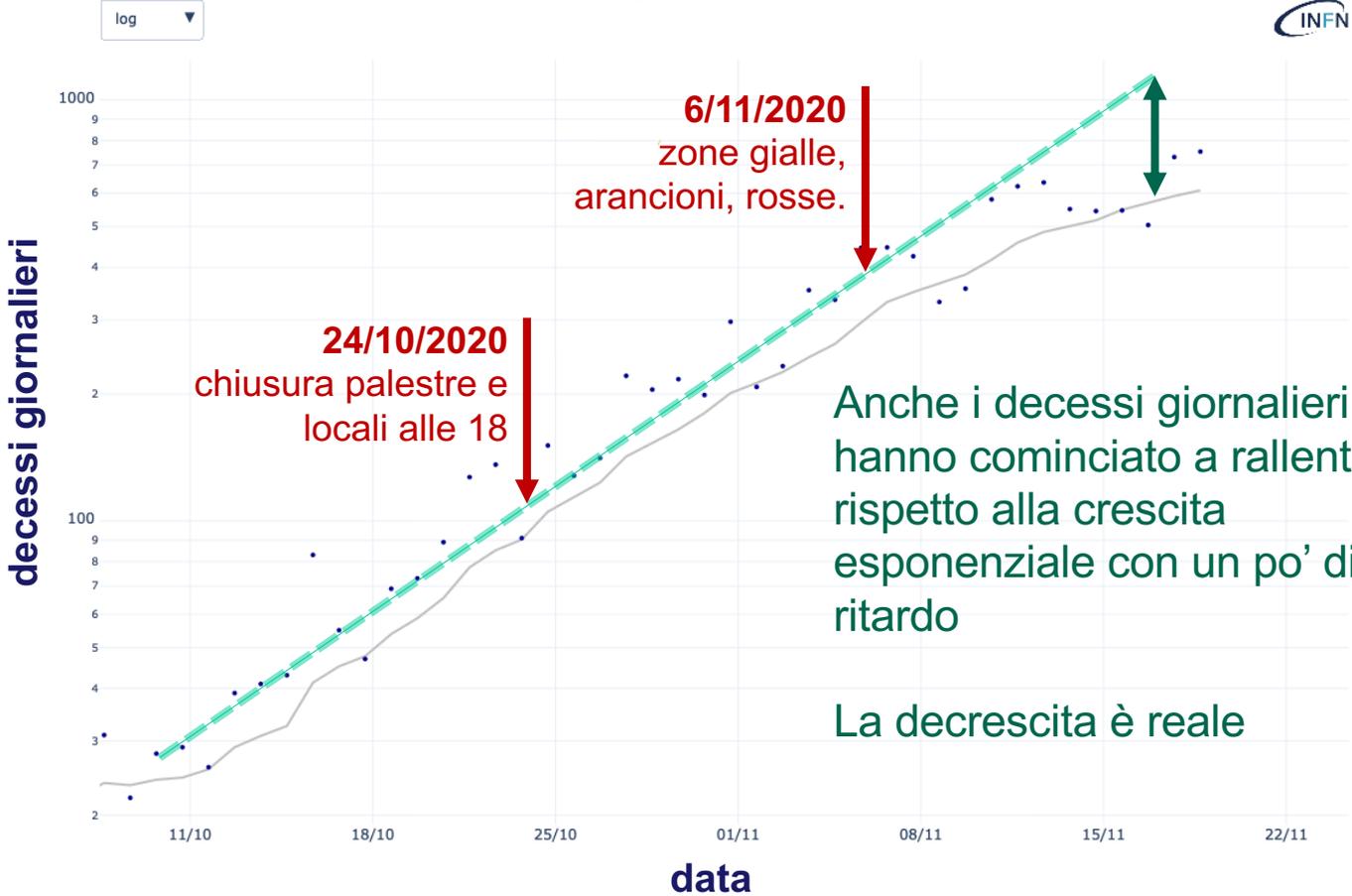




# Decessi a metà novembre



## Italia – decessi giornalieri – 18/11/2020



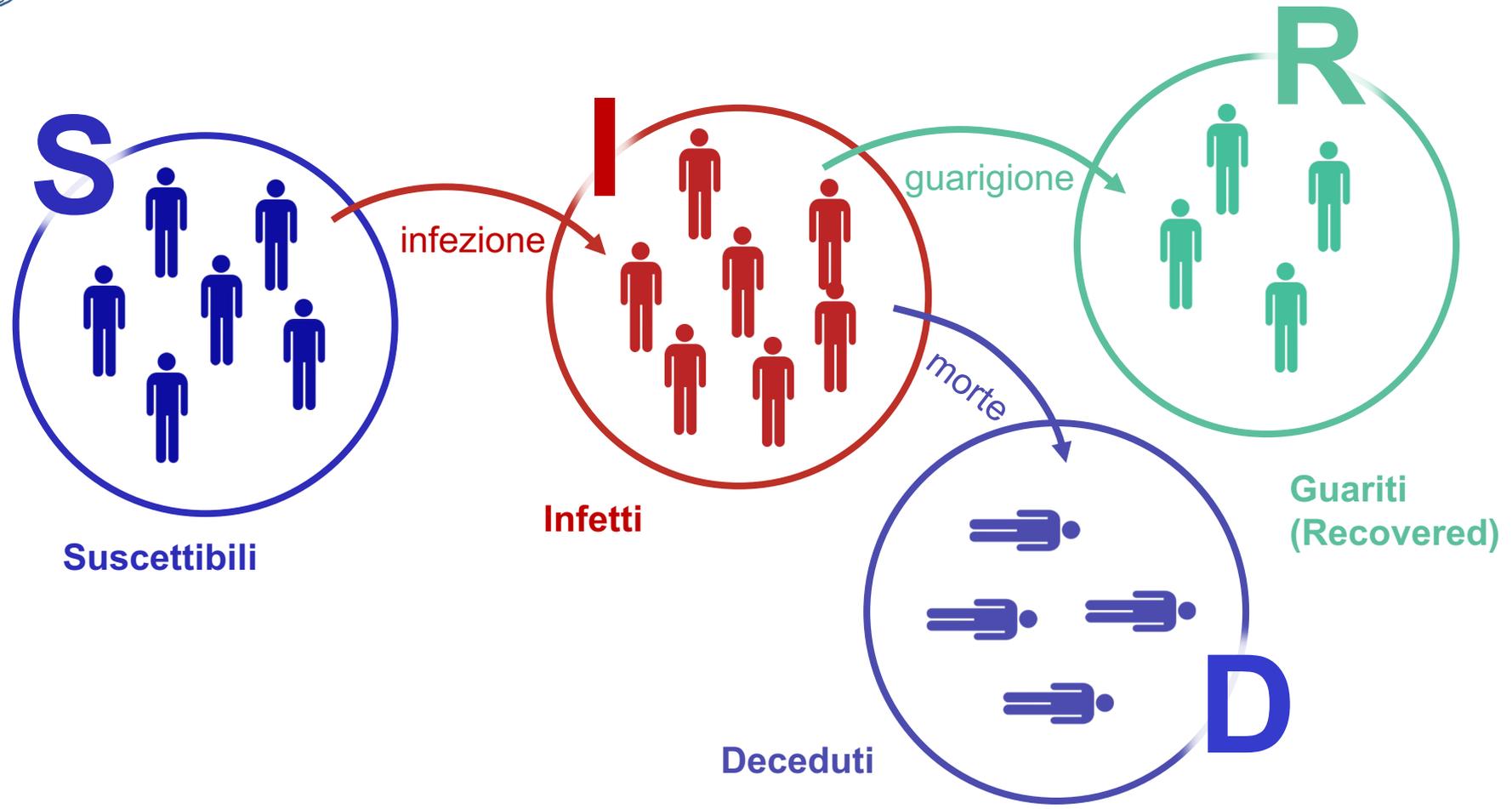


# Decessi, ieri



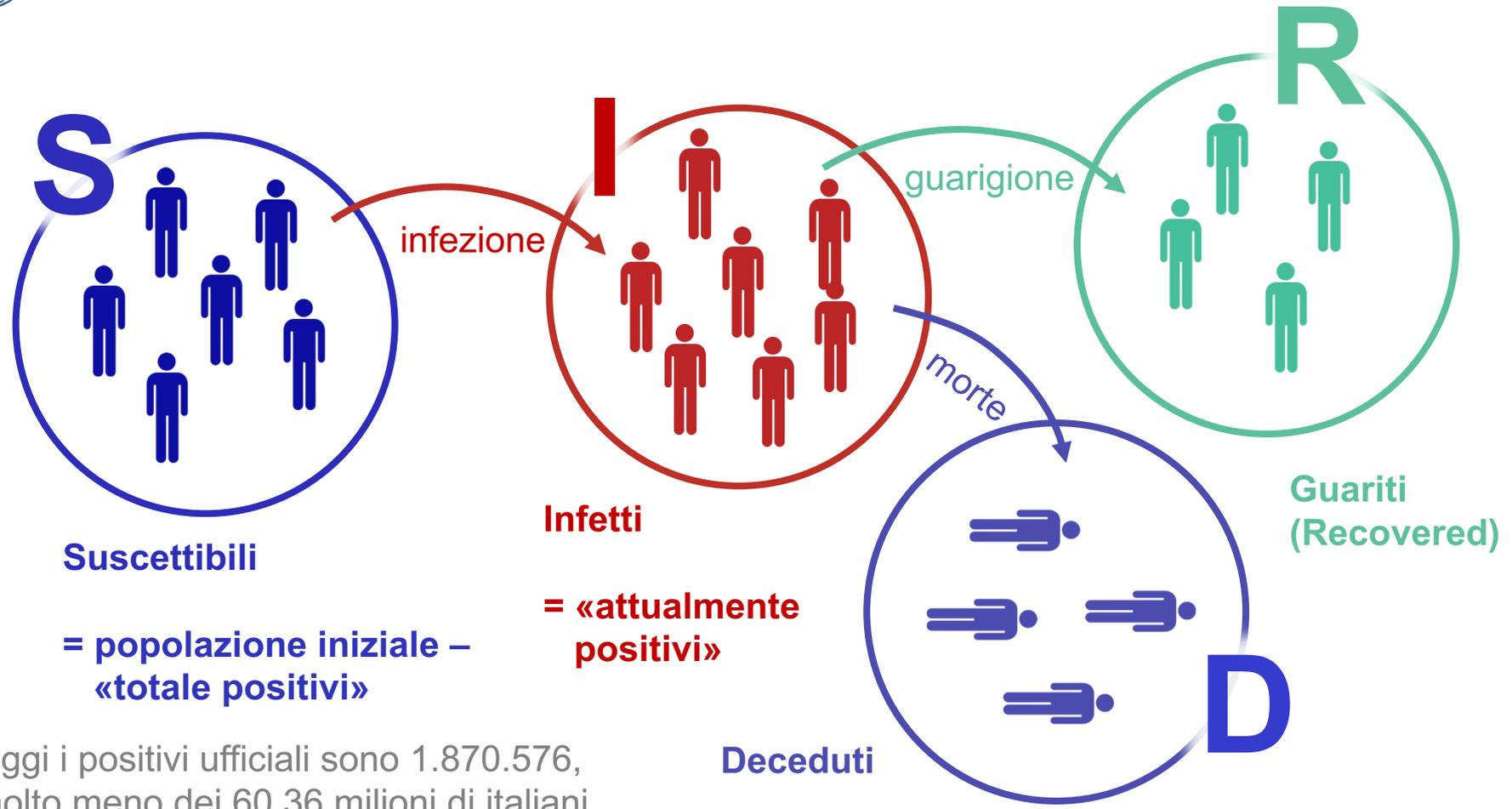


# Modello SIRD





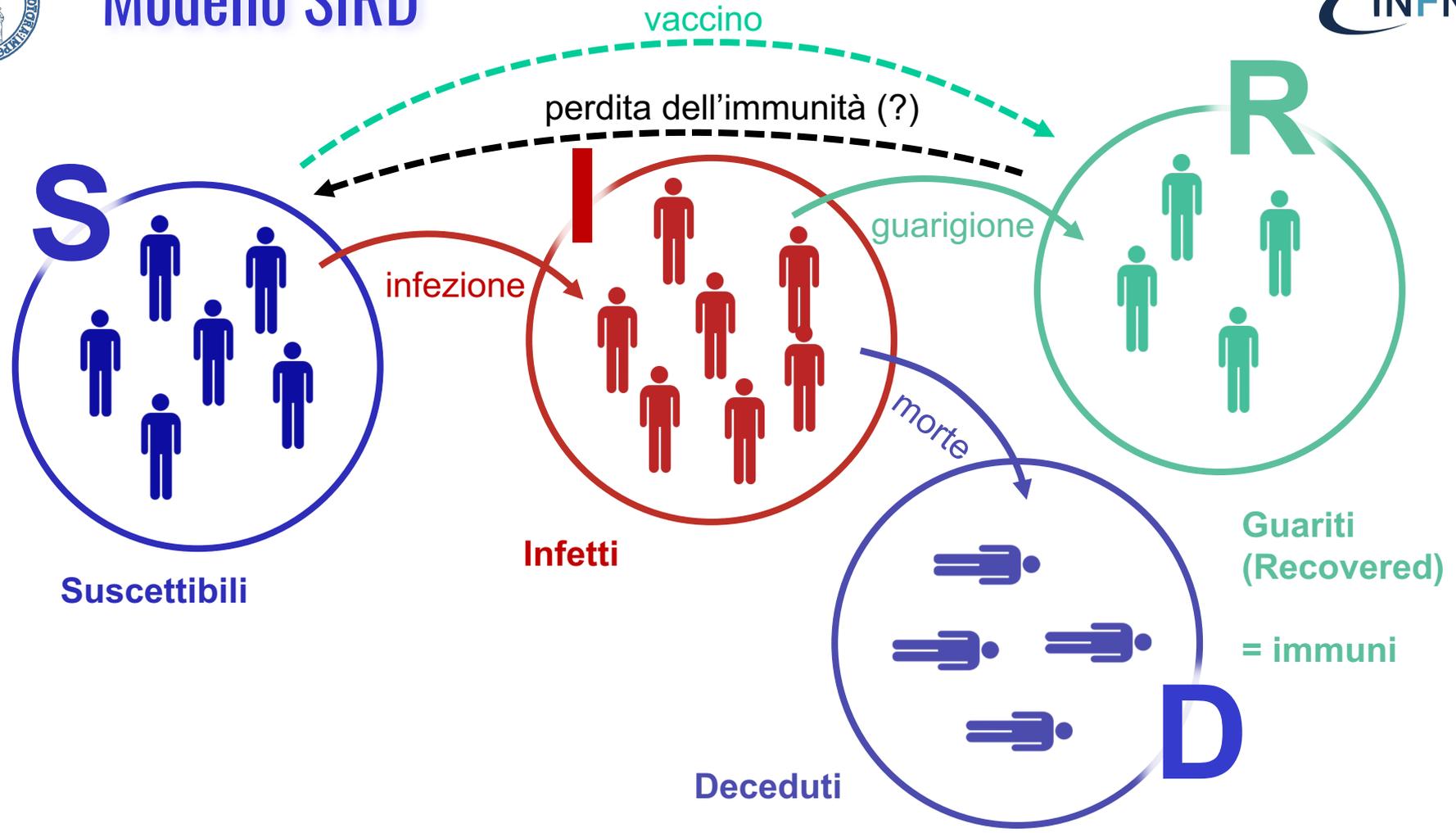
# Modello SIRD



Oggi i positivi ufficiali sono 1.870.576, molto meno dei 60,36 milioni di italiani



# Modello SIRD





# Modello SIRD

- L'evoluzione in una popolazione di  $N$  persone è prevedibile con un semplice **modello matematico**:
  - $S, I, R, D$  : casi totali
  - $\frac{dS}{dt}, \frac{dI}{dt}, \frac{dR}{dt}, \frac{dD}{dt}$  : variazioni giornaliere
  - La popolazione iniziale è:  
$$N = S + I + R + D$$
  - I parametri,  $\beta, \alpha$  e  $\mu$  misurano quanto velocemente si passa da un compartimento all'altro
- }

Si risolve matematicamente per prevedere l'evoluzione



# Da SIRD a SIR

- Morti e guariti non sono più infettabili
- **Recovered + Dead = Resolved**

$$\blacksquare \frac{dI}{dt} = \beta I \frac{S}{N} - \gamma I$$

$$\blacksquare \frac{dR}{dt} = \gamma I$$

$$\blacksquare \frac{dS}{dt} = -\beta I \frac{S}{N}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \blacksquare \frac{dR}{dt} = \alpha I \\ \blacksquare \frac{dD}{dt} = \mu I \end{array} \right.$$

$$\bullet R = R + D$$

$$\bullet \gamma = \alpha + \mu$$

$$N = S + I + \underbrace{R + D}_{\uparrow} = S + I + R$$



# Modello SIR(D)

- All'inizio dell'epidemia tutta la popolazione è suscettibile:

$$S(0) = N$$

- Siccome:  $\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = \beta \frac{S}{N} - \gamma \cong \beta - \gamma$

- $\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = \frac{d \log I}{dt} \cong \gamma(R_0 - 1) = \lambda$

- All'inizio dell'epidemia c'è crescita esponenziale:

$$I(t) \cong Ae^{\lambda t}$$

- $R_0$  è legato ai parametri del modello:

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

tasso di incremento infetti

tasso di incremento guariti + decessi = risolti



# Da $R_0$ a $R_t$

- La definizione di  $R_t$  è:

$$R_t = R_0 \frac{S(t)}{N}$$

- Siccome  $\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = \frac{\beta S}{N} - \gamma$ , abbiamo:

$$R_t = R_0 \frac{S}{N} = \frac{\beta S}{\gamma N} = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{1}{I} \frac{dI}{dt} + \gamma \right) = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{d \log I}{dt} + \gamma \right)$$

- Ad inizio pandemia,  $\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = \frac{d \log I}{dt} \cong \lambda$ , quindi:

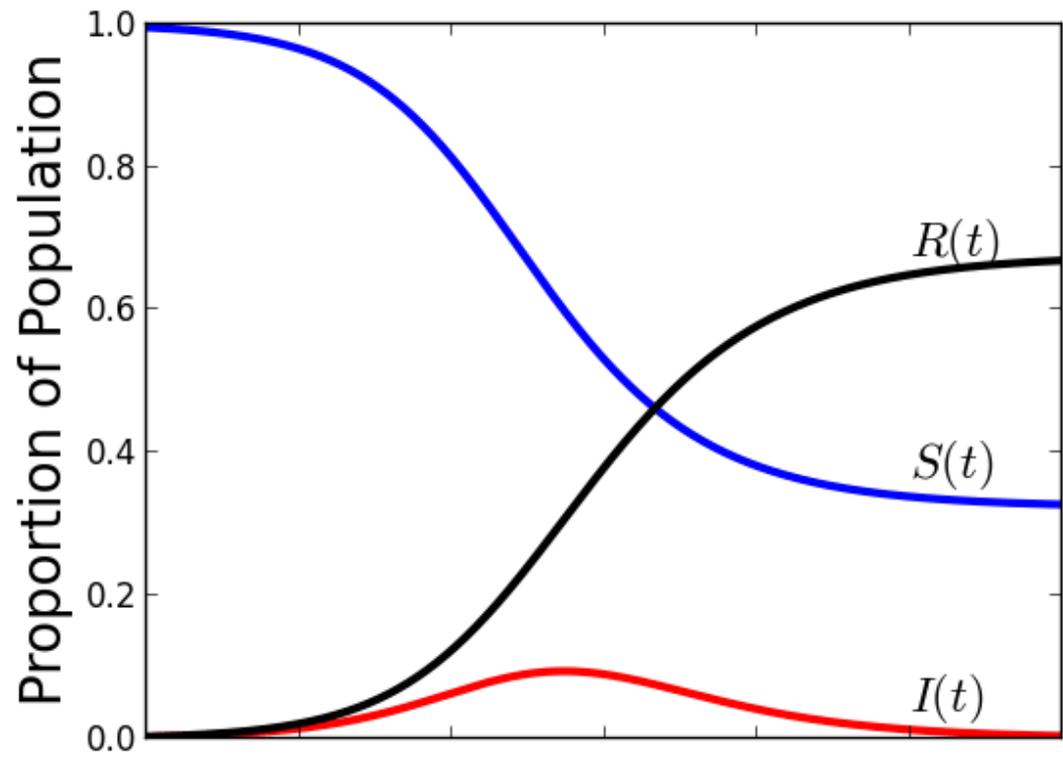
$$R_t = R_0 = \frac{\lambda}{\gamma} + 1 \cong e^{\lambda/\gamma} \quad \leftarrow \text{Legato al tasso di crescita esponenziale degli infetti}$$



# Modello SIR



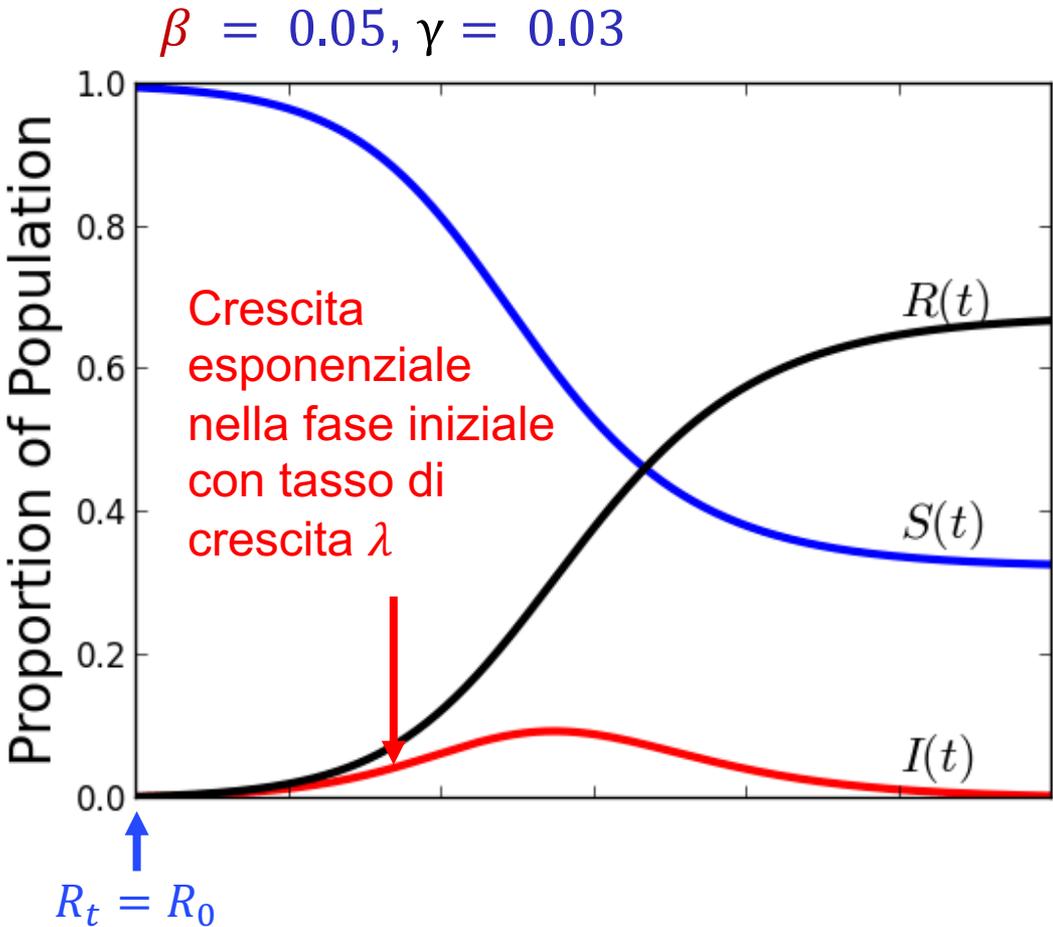
$$\beta = 0.05, \gamma = 0.03$$



←  $R(t)$  rappresenta sia guariti che morti



# Modello SIR: inizio

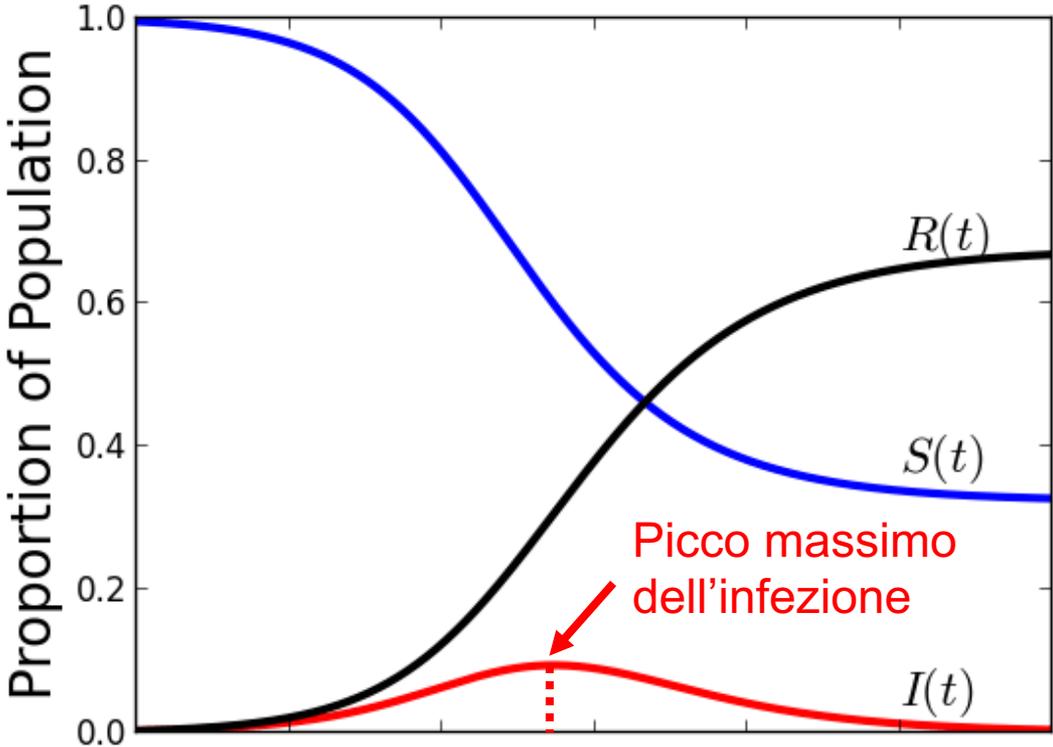




# Modello SIR: picco

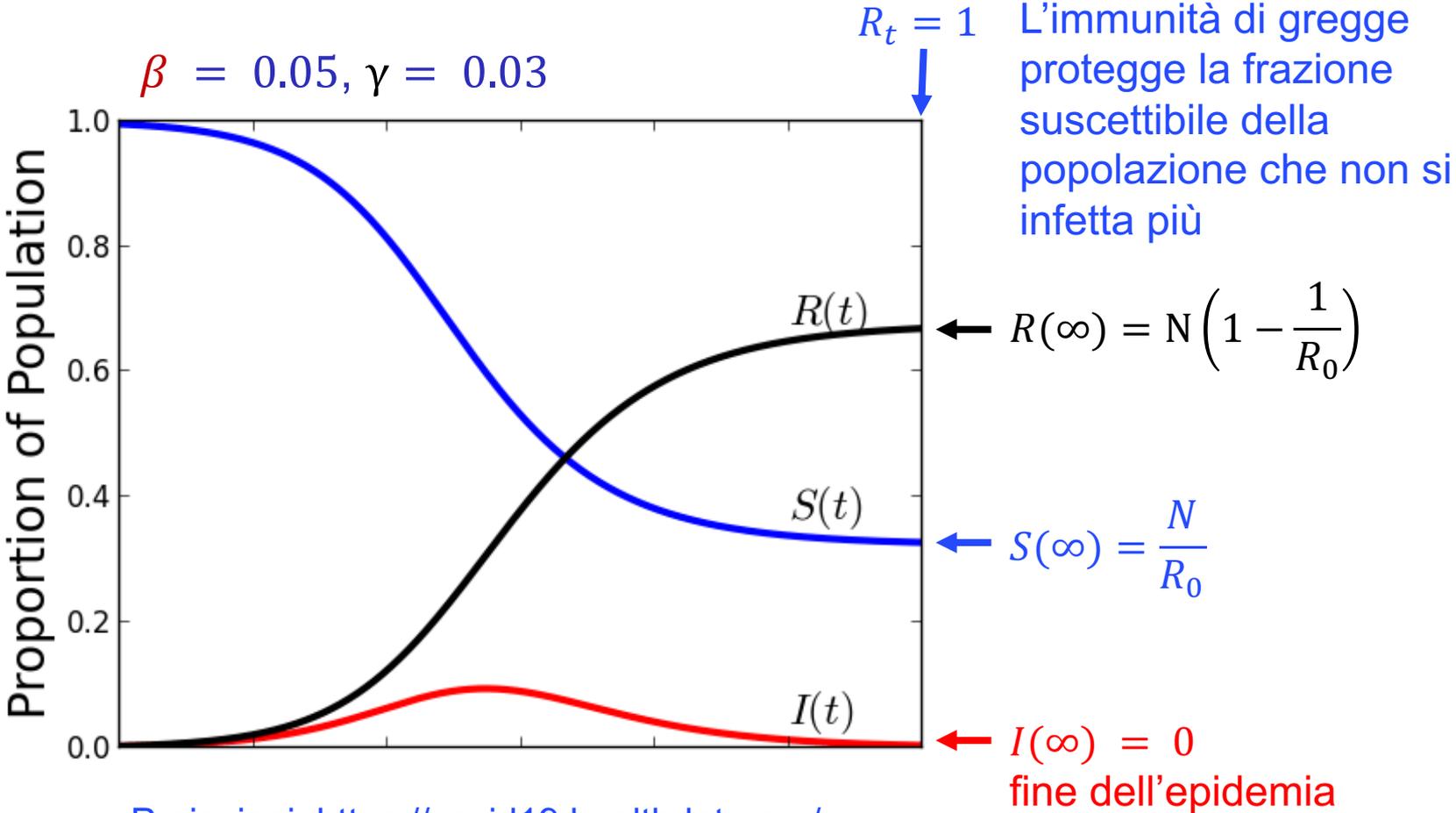


$$\beta = 0.05, \gamma = 0.03$$





# Modello SIR: fine

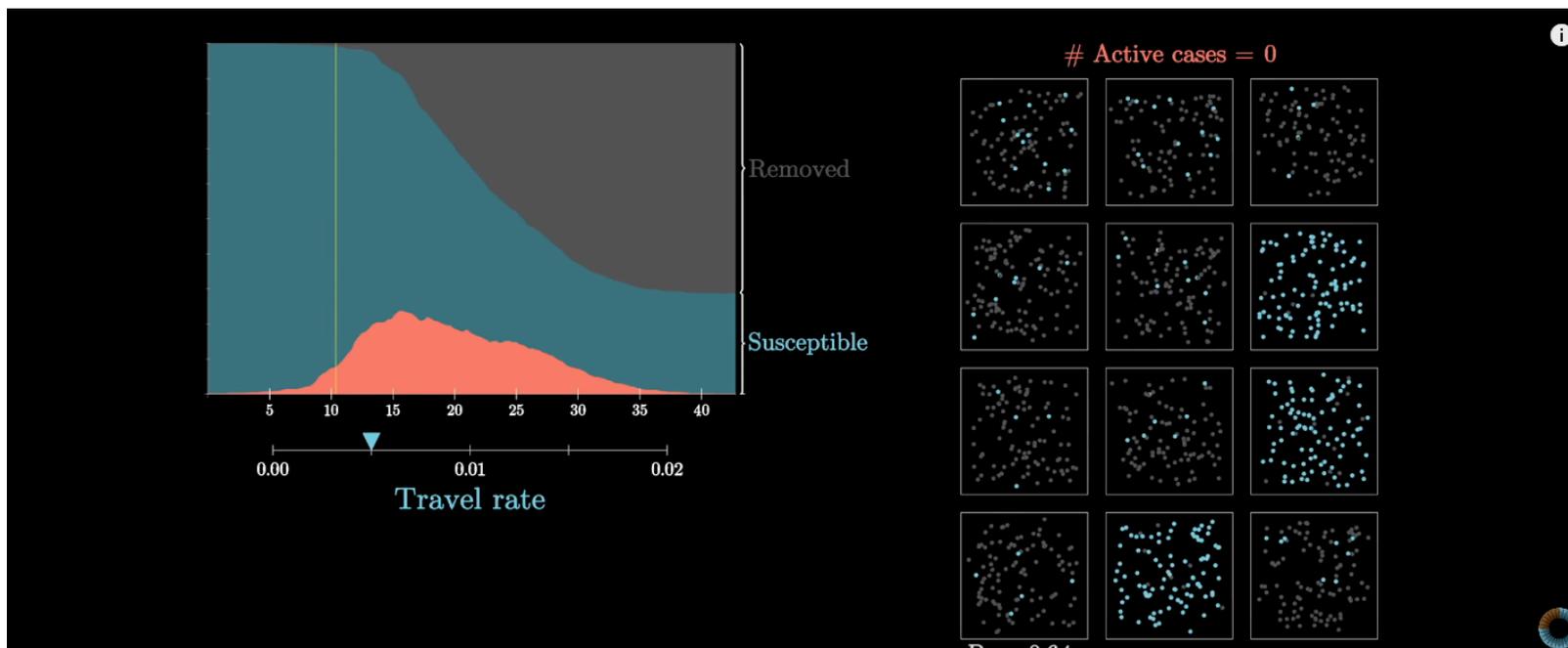


Proiezioni: <https://covid19.healthdata.org/>



# Video di approfondimento

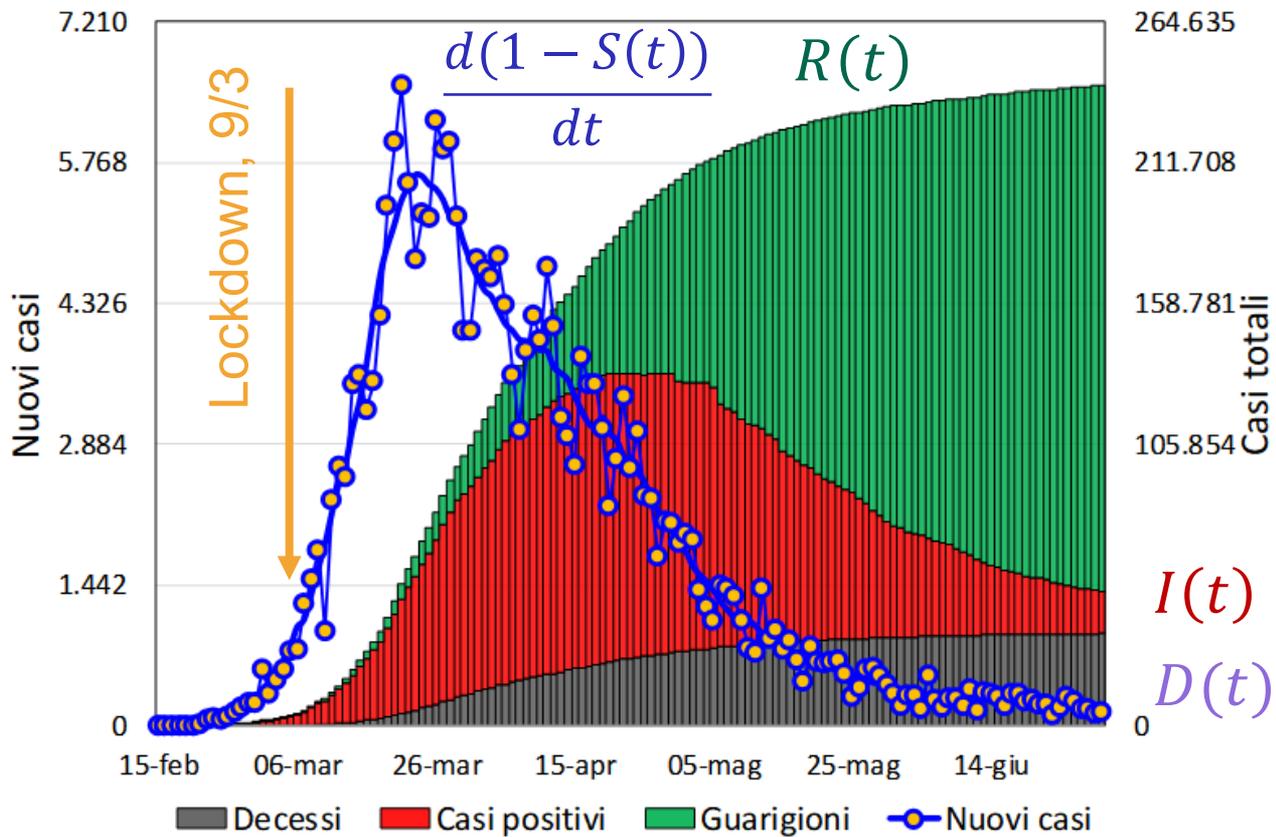
- Spiegazioni, visualizzazioni e simulazioni di grande chiarezza di Grant Sanderson
- <https://youtu.be/Kas0tlxDvrg>
- <https://youtu.be/gxAaO2rsdIs>





# Casi in Italia, prima ondata

## Casi coronavirus CoVid-19 in Italia



Il picco della prima ondata è dovuto al contenimento che ha abbassato  $R_t$ , non al raggiungimento dell'immunità di gregge.



# La realtà è diversa dal modello SIRD



- Le situazioni cambiano
  - La stagione modifica le abitudini (attività al chiuso, discoteche, ...)
  - Temperatura e malattie possono incidere sul sistema immunitario
  - Misure di prevenzione o restrittive riducono la trasmissione
  - Le persone usano più o meno prudenza a seconda del livello di paura o di assuefazione al rischio
  - Le terapie riducono la mortalità
  - I parametri  $\beta$ ,  $\alpha$  e  $\mu$  possono variare nel tempo
- Gruppi diversi interagiscono in modo diverso
  - Scuole, famiglie, palestre, residenze per anziani, chiese, ...
  - Regioni italiane, paesi del mondo, con possibile chiusura delle frontiere
  - Esistono tanti  $S$ ,  $I$ ,  $R$ ,  $D$  collegati tra loro da tante equazioni



# I dati reali fluttuano

- Esempio:
  - il numero di persone che si trovano nella metropolitana un **lunedì lavorativo alle 7:30** varia di settimana in settimana
  - Se però confrontiamo con la **domenica alle 15:00** i numeri, anche se fluttuano, saranno significativamente diversi!
- **Casuale non significa del tutto imprevedibile!**
- ***S*, *I*, *R*, *D*** previsti dalle equazioni sono solo i valori medi di quanto osserveremo
- L'ampiezza della fluttuazione, se il processo è *Poissoniano*, è  $\sqrt{n}$
- **I numeri riportati hanno una dispersione maggiore: altri effetti si aggiungono alle fluttuazioni statistiche**

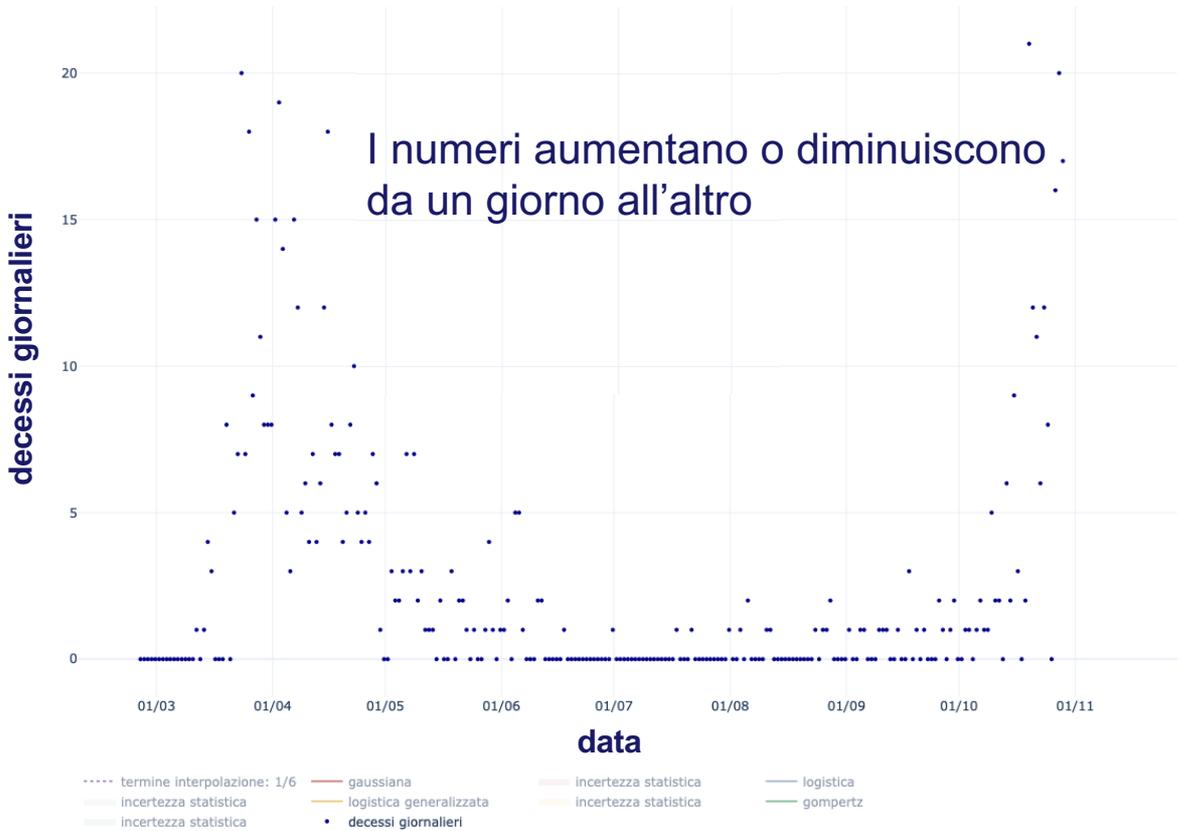




# Decessi in Campania, prima ondata



## Campania – decessi giornalieri – 27/10/2020

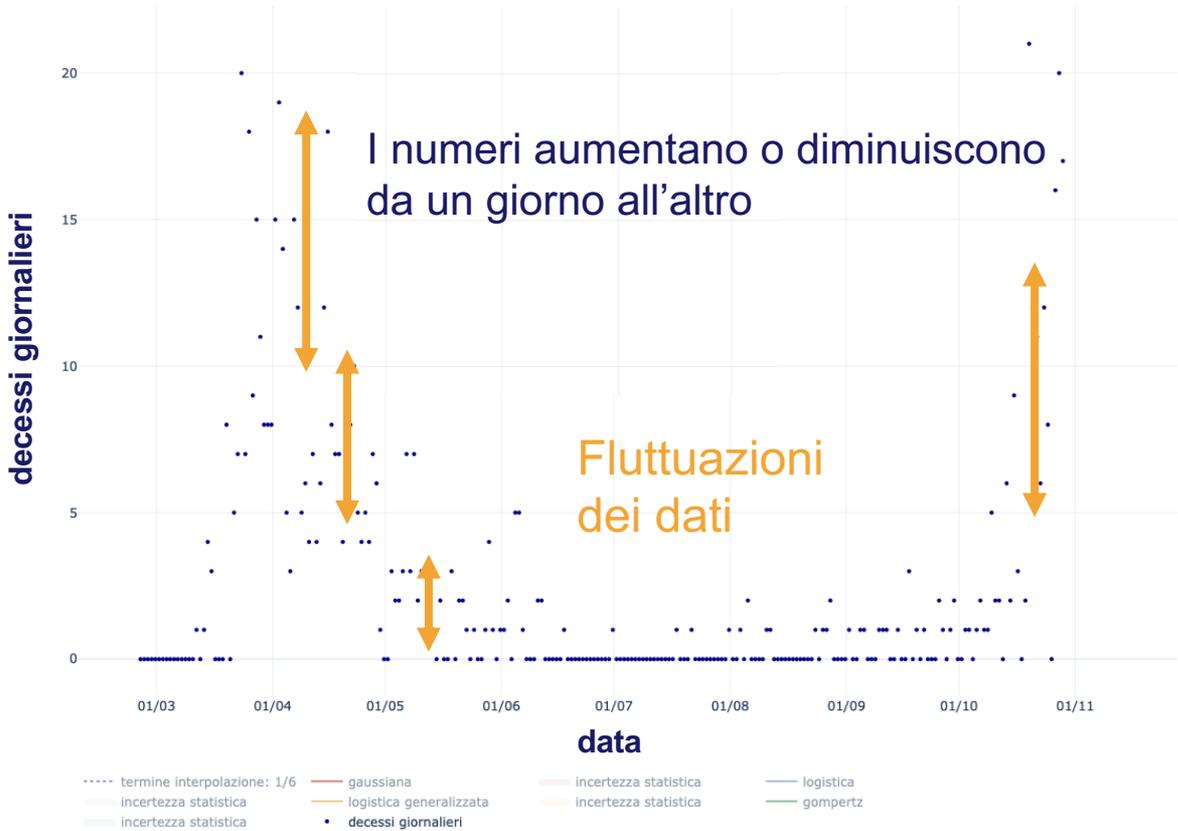




# Decessi in Campania, prima ondata



## Campania – decessi giornalieri – 27/10/2020

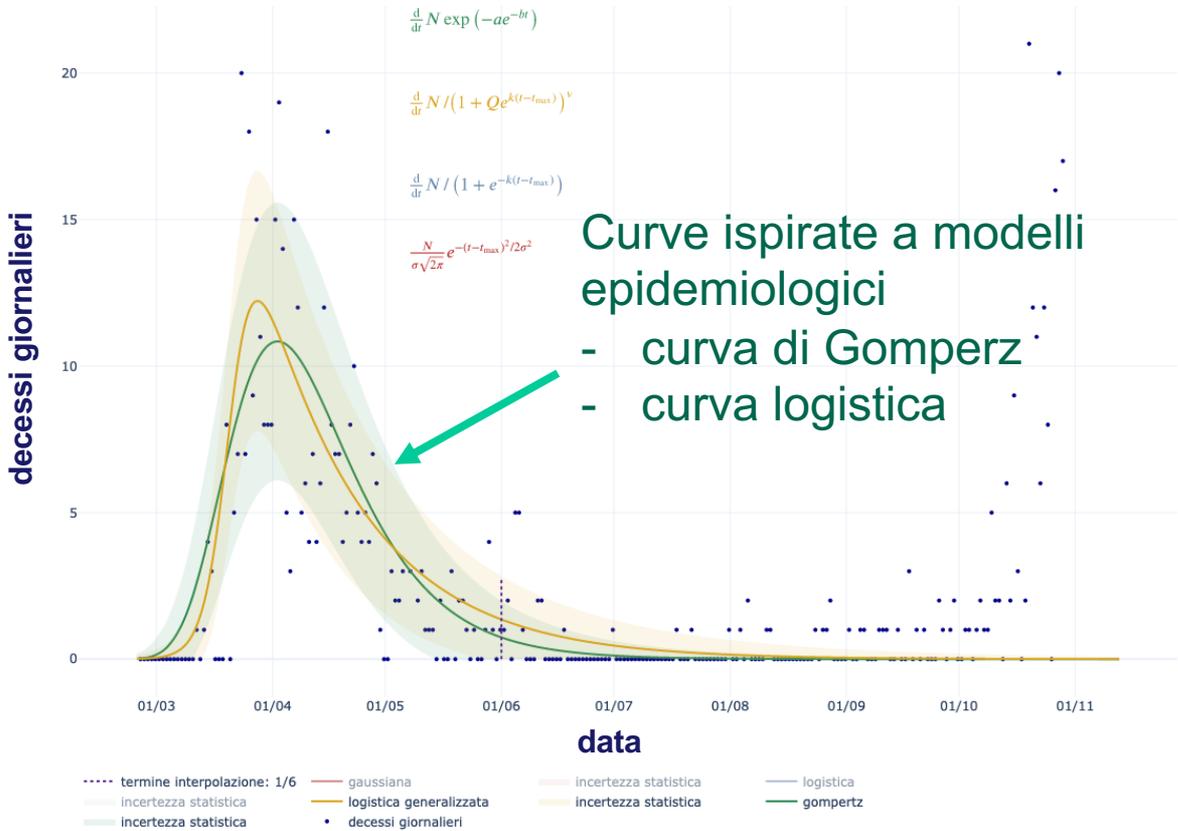




# Decessi in Campania, prima ondata



## Campania – decessi giornalieri – 27/10/2020

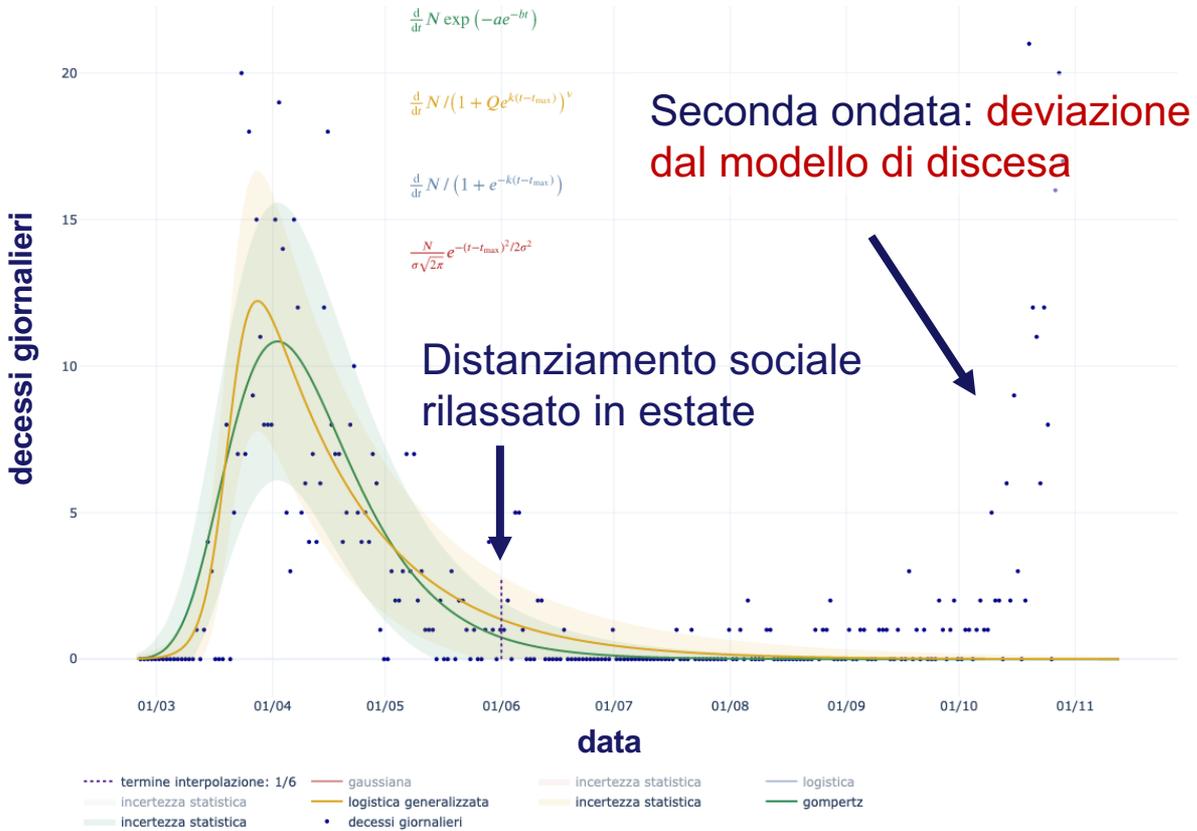




# Decessi in Campania, prima ondata



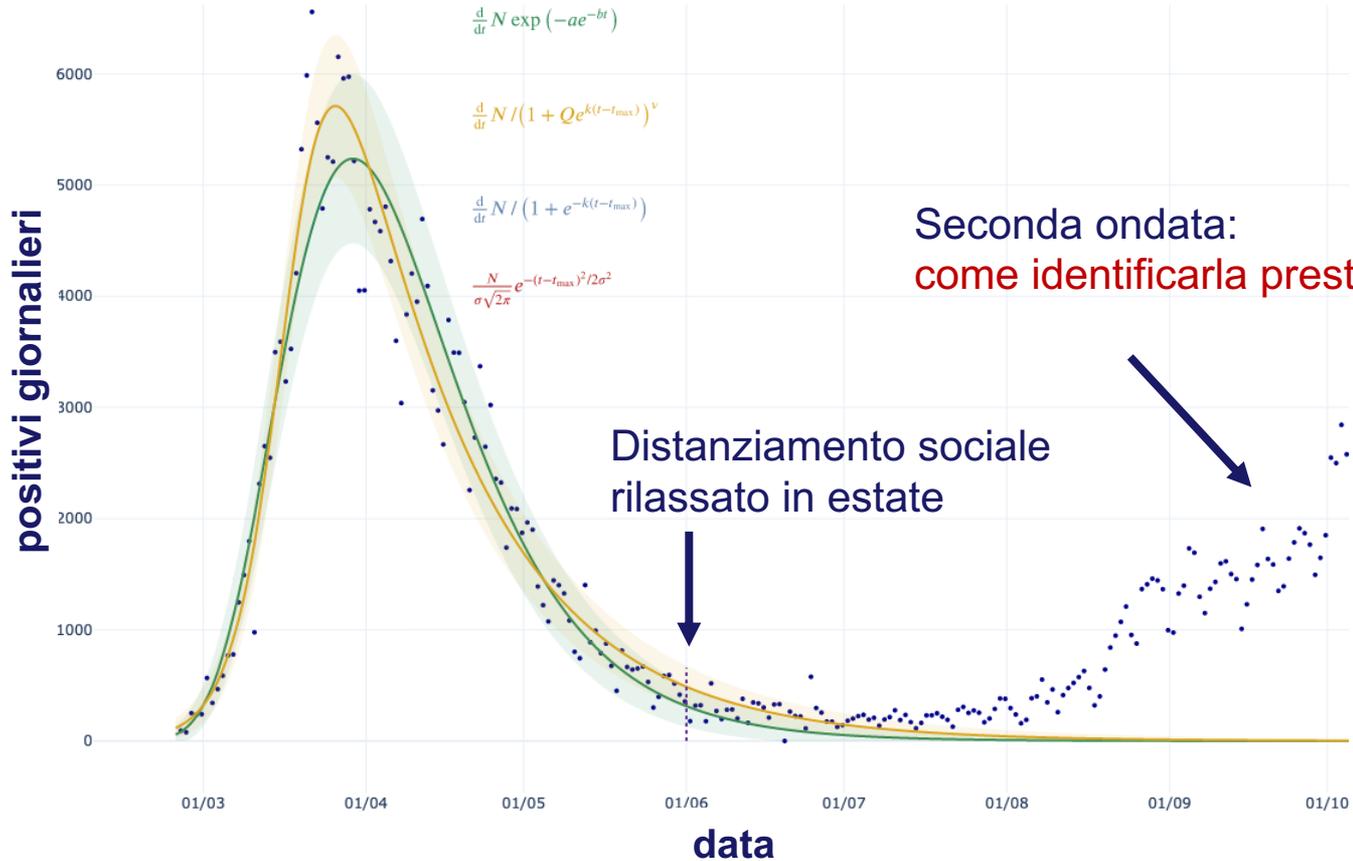
## Campania – decessi giornalieri – 27/10/2020





# Positivi in Italia, dopo la prima ondata

## Italia – positivi giornalieri – 4/10/2020

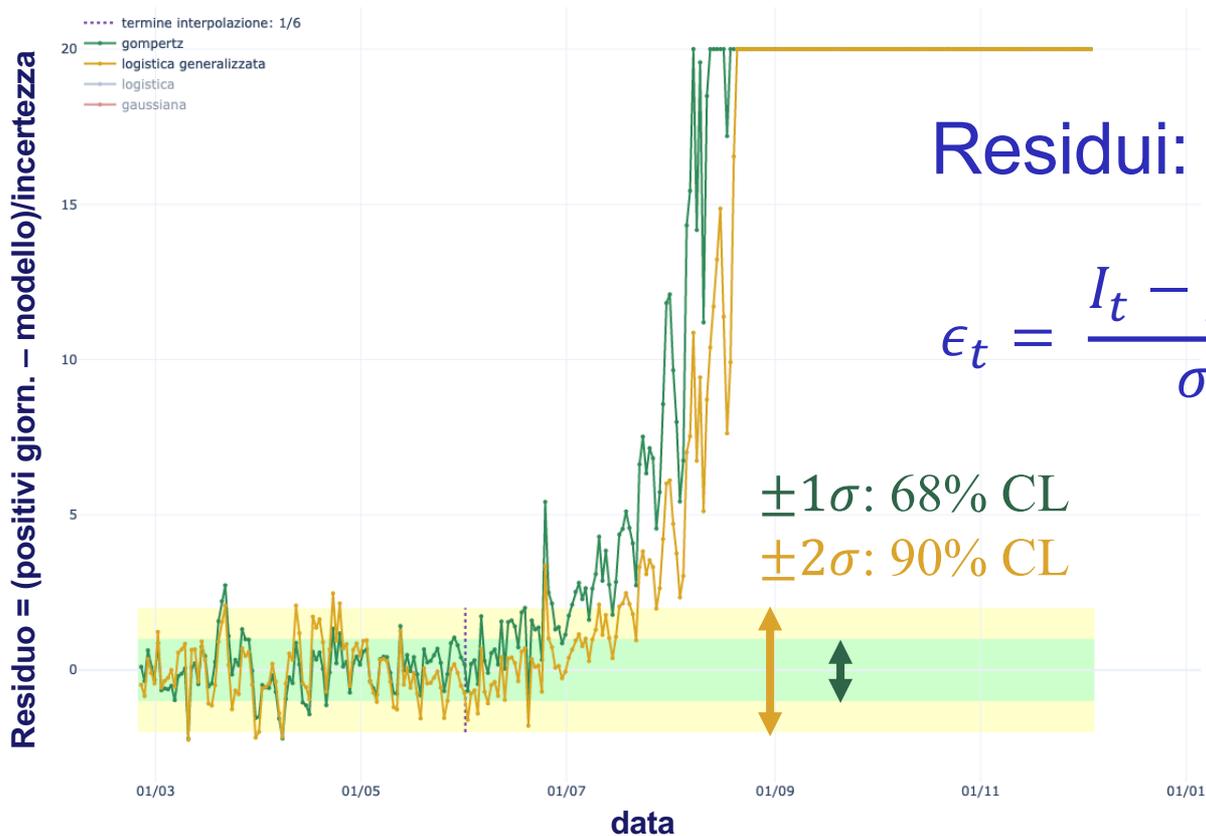




# Identificare presto la ripresa



## Italia – decessi giornalieri – 3/12/2020



Residui:

$$\epsilon_t = \frac{I_t - f(t)}{\sigma_t}$$

$\pm 1\sigma$ : 68% CL

$\pm 2\sigma$ : 90% CL



# $R_t$ , questo sconosciuto

- Presentato al pubblico come un parametro quasi magico, gli algoritmi come un oracolo che determina il nostro destino
- Diversi metodi, anche molto complessi, stimano  $R_t$  a partire da:
  1. Numero di infetti<sup>[\*]</sup> giornalieri
  2. Distribuzione dei ritardi tra l'infezione di chi ha infettato e chi si infetta

[\*] L'Istituto Superiore di Sanità usa il numero di sintomatici che pubblica solo da poco tempo





# Come si calcola è $R_t$ ?

- « $R_t$  misura quante persone vengono contagiate in media da un infetto durante tutto il periodo in cui è contagioso»
  - ...questo è vero solo se  $R_t$  è costante in questo periodo!
- Una persona  $p$  che si è infettata il giorno  $d$  contagia in media altre persone durante i giorni  $t$  in cui è infetta:

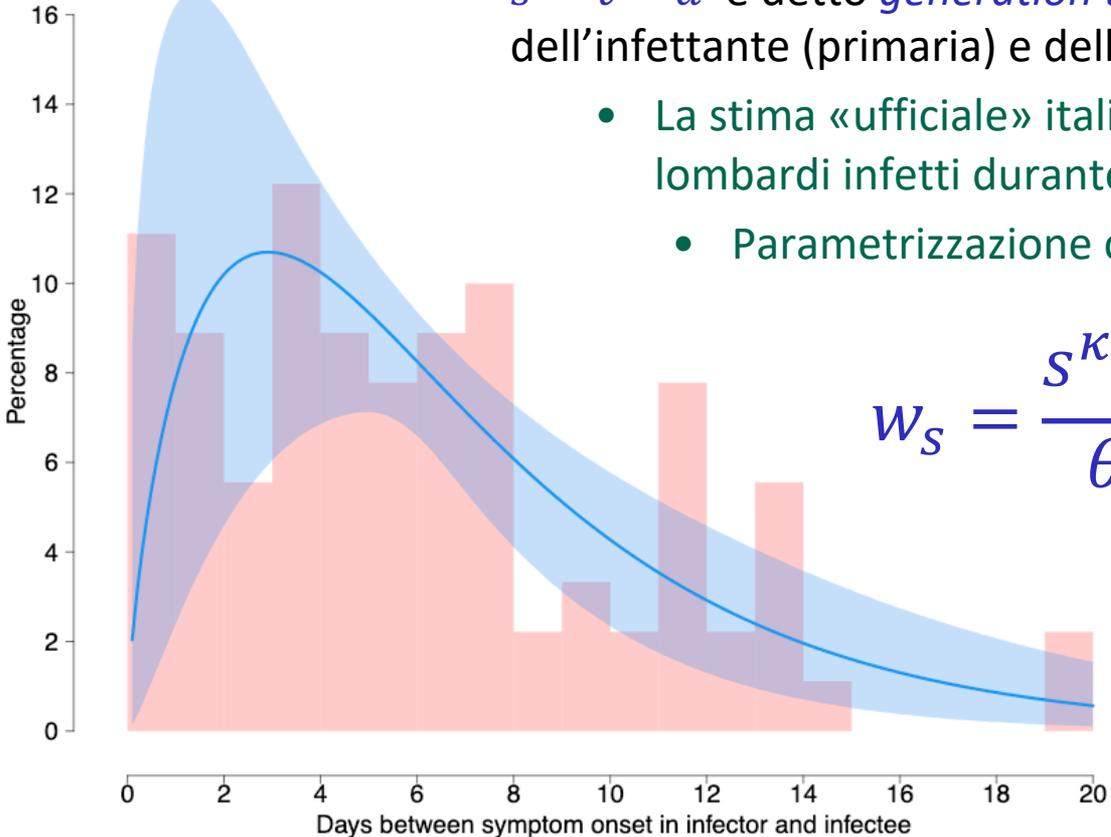
$$\mathbb{E} \left[ I_t^{(d)} \right] = R_t w_{t-d}$$

- L'apice  $(d)$  indica che si tratta solo di quelli infettati da una singola persona, non da tutti gli infetti nel giorno  $t$
- $t$  in  $R_t$  è il tempo di infezione secondaria, non primaria



# $w_s$ , la distribuzione del *generation time*

- $s = t - d$  è detto *generation time*: tempo tra le infezioni dell'infettante (primaria) e dell'infettato (secondaria)
  - La stima «ufficiale» italiana si basa su 90 pazienti lombardi infetti durante la prima ondata.
  - Parametrizzazione come distribuzione gamma



$$w_s = \frac{s^{\kappa-1} e^{-s/\theta}}{\theta^{\kappa} \Gamma(\kappa)}$$

$$\begin{aligned} \bar{s} &= 6.6 \pm 1.9g \\ \sigma_s &= 4.9 \pm 1.0g \\ \kappa &= 1.87 \pm 0.26 \\ 1/\theta &= 0.28 \pm 0.04g^{-1} \end{aligned}$$

- Usata dall'ISS per produrre la stima nazionale ufficiale

Cereda *et al.*, arXiv:2003.09320 (2020)



# Infetti giornalieri e $R_t$

- Sommando su tutti gli infetti di tutti i giorni precedenti:

$$\mathbb{E}[I_t] = \sum_{d=0}^{t-1} I_d \mathbb{E} \left[ I_t^{(d)} \right] =$$
$$R_t \sum_{d=0}^{t-1} I_d w_{t-d} = R_t \sum_{s=1}^t I_{t-s} w_s$$

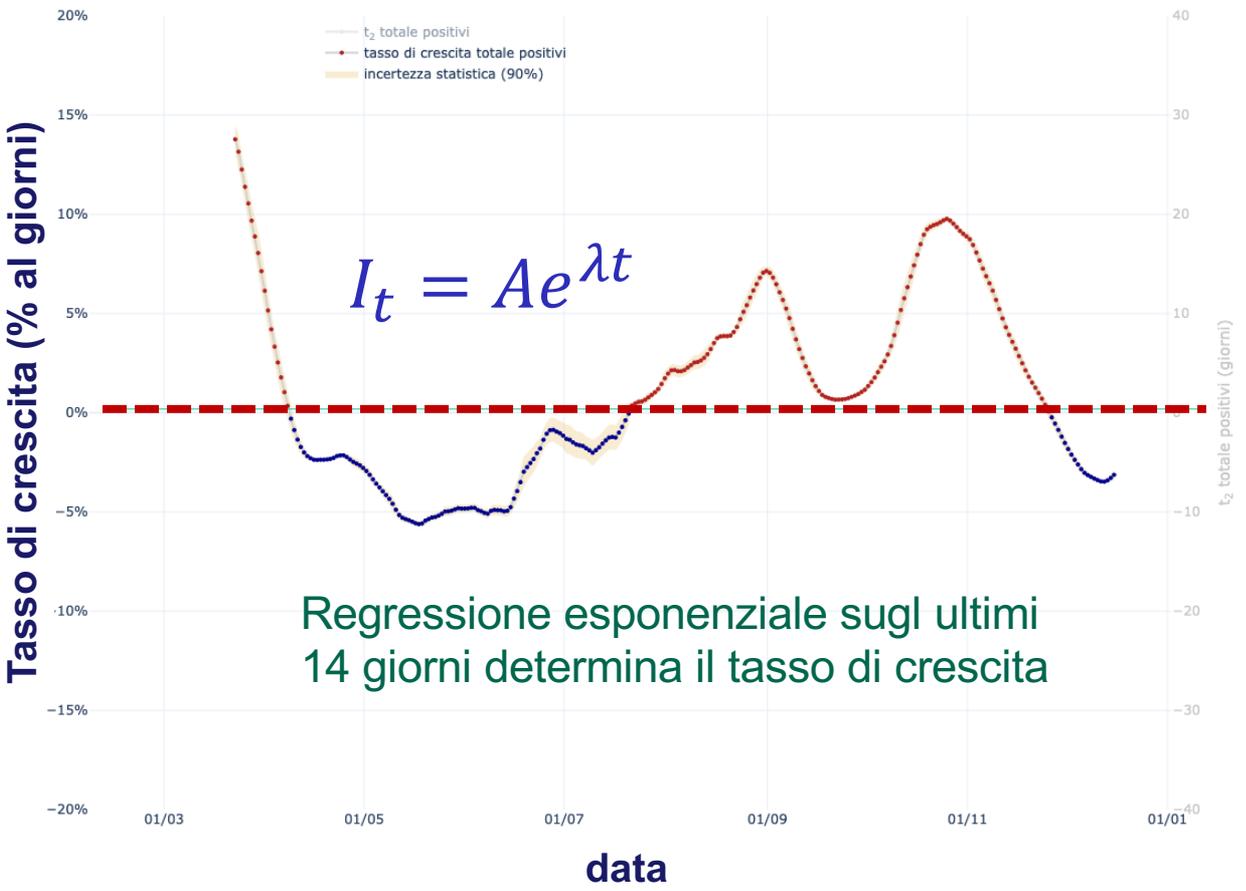
- $R_t$  può variare al progredire dell'infezione e dipende dalle misure preventive adottate



# Tasso di crescita esponenziale



## Italia – tasso di crescita– 15/12/2020

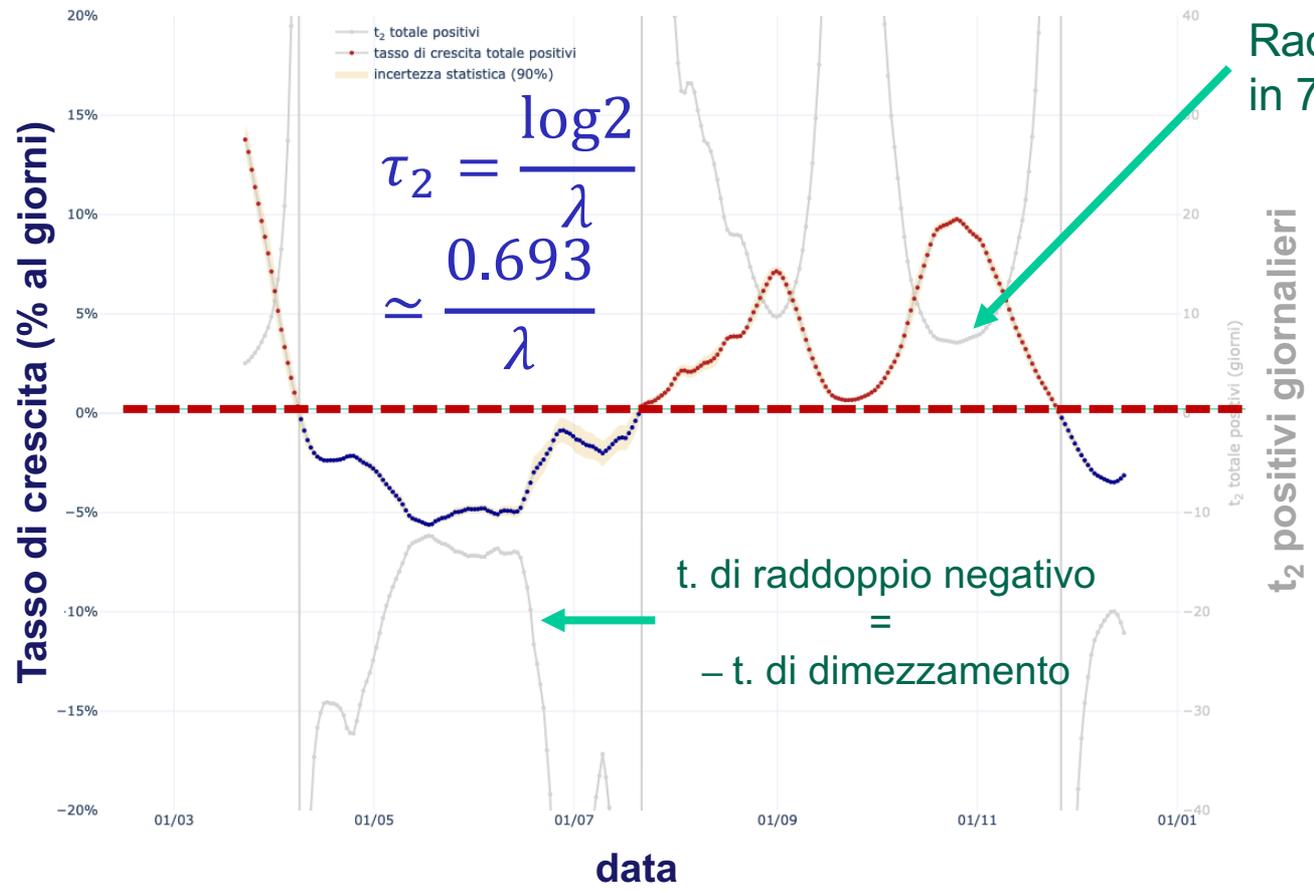




# Tempo di raddoppio



## Italia – tasso di crescita– 10/15/2020





# $R_t$ è legato al tasso di crescita

- Se c'è un andamento esponenziale si può dimostrare<sup>[\*]</sup> che:

$$R_t = \left[ \int_0^\infty e^{\lambda t} w(s) ds \right]^{-1}$$

- Se assumiamo un generation time costante  $s = g$  si ottiene:

$$R_t = e^{\lambda g}$$

- Se consideriamo solo il valor medio  $g$  e la deviazione standard di  $w_s$ , trascurando i momenti più alti della distribuzione:

$$R_t = e^{\lambda g - \frac{1}{2} \lambda^2 \sigma^2}$$

- Se  $w_s$  è una distribuzione gamma:

$$R_t = (1 + \lambda \theta)^k$$

[\*] passando da un tempo discreto al continuo



# Il valore di soglia: $R_t=1$

- Se consideriamo  $\lambda = 0$  (tasso di crescita nullo, sul picco) abbiamo:

$$R_t = \left[ \int_0^{\infty} e^{0 \cdot t} w(s) ds \right]^{-1}$$
$$= \left[ \int_0^{\infty} w(s) ds \right]^{-1} = 1$$

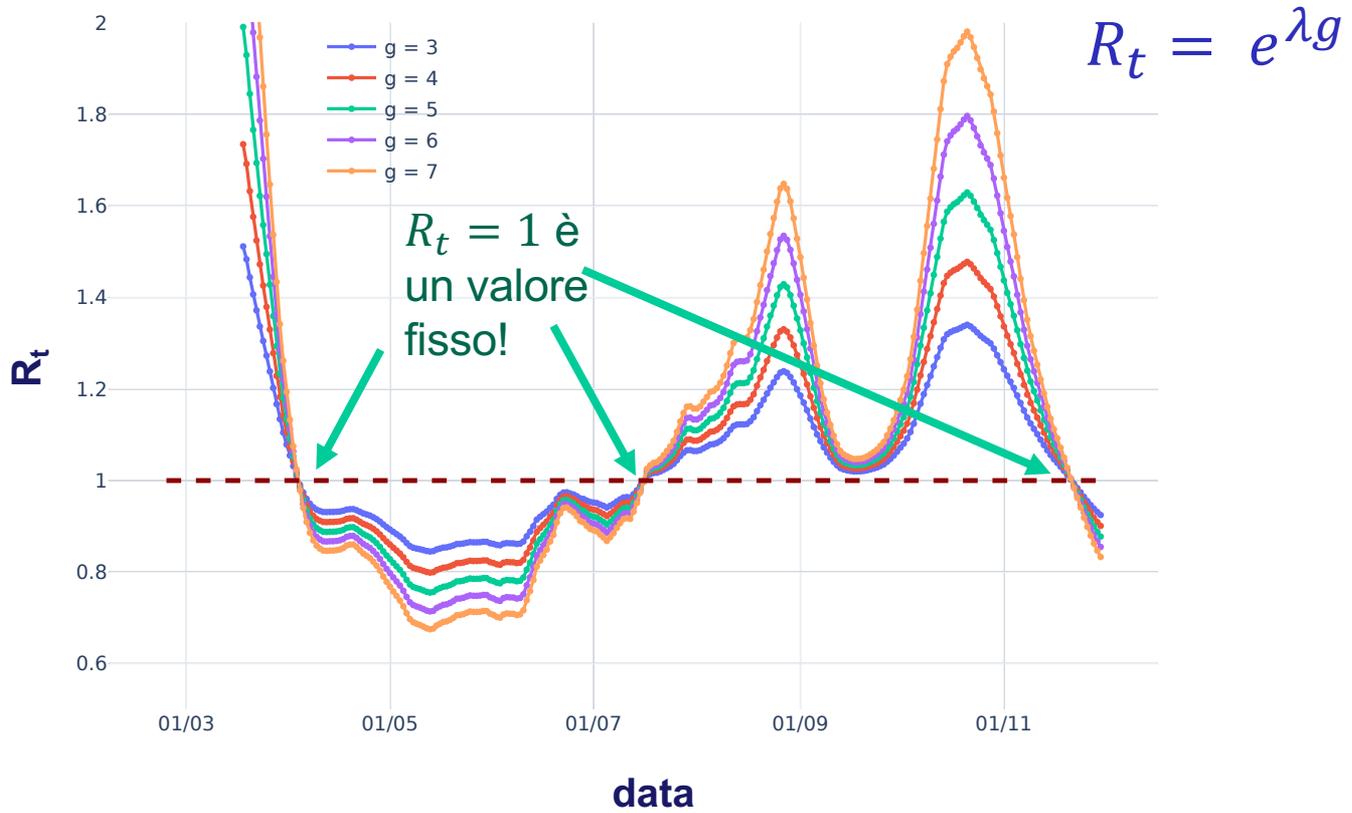
- Quindi  $R_t = 1$  equivale ad essere sul picco
- Senza calcolare  $R_t$ , l'andamento crescente o decrescente dell'epidemia si vede direttamente dal grafico degli infetti!



# $R_t$ in funzione del generation time

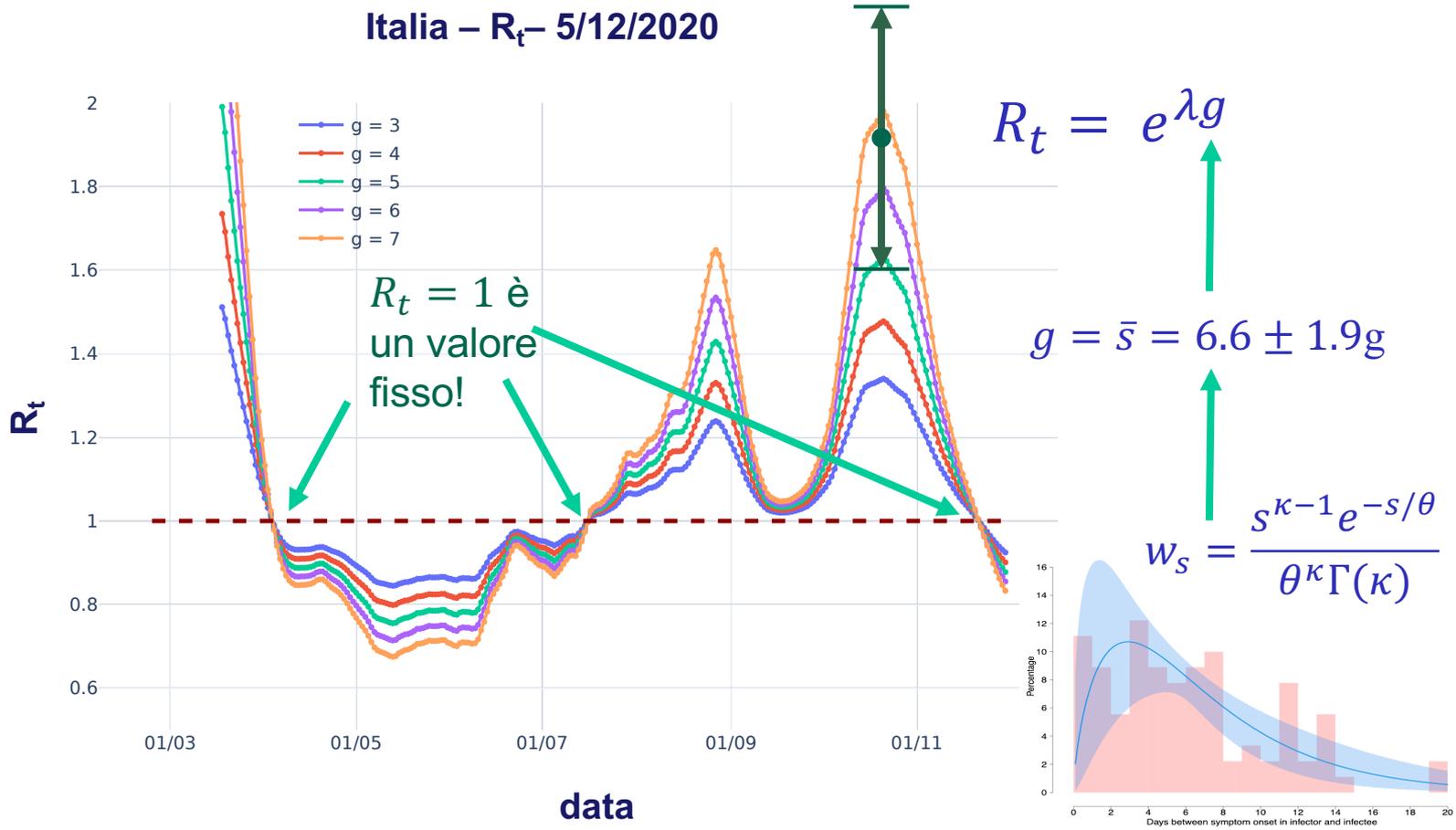


Italia –  $R_t$  – 5/12/2020





# $R_t$ in funzione del generation time

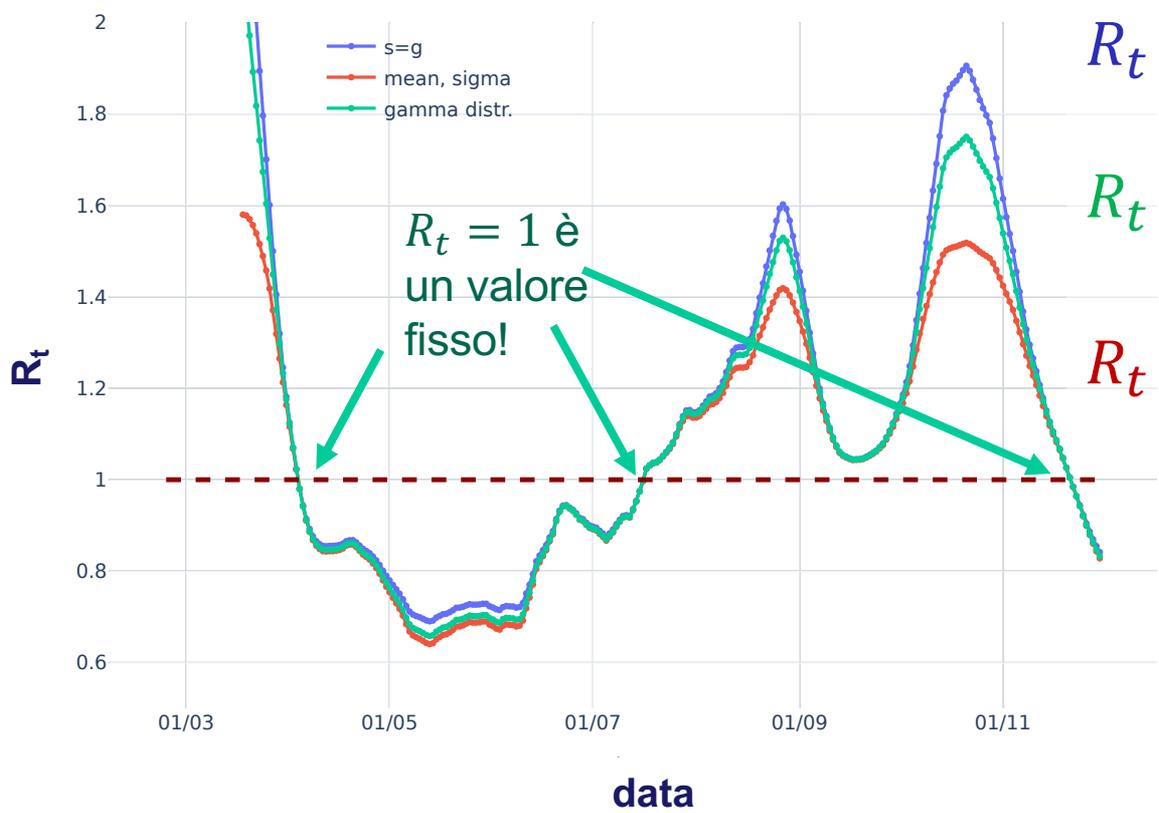




# Approssimazioni successive



### Italia – $R_t$ – 5/12/2020



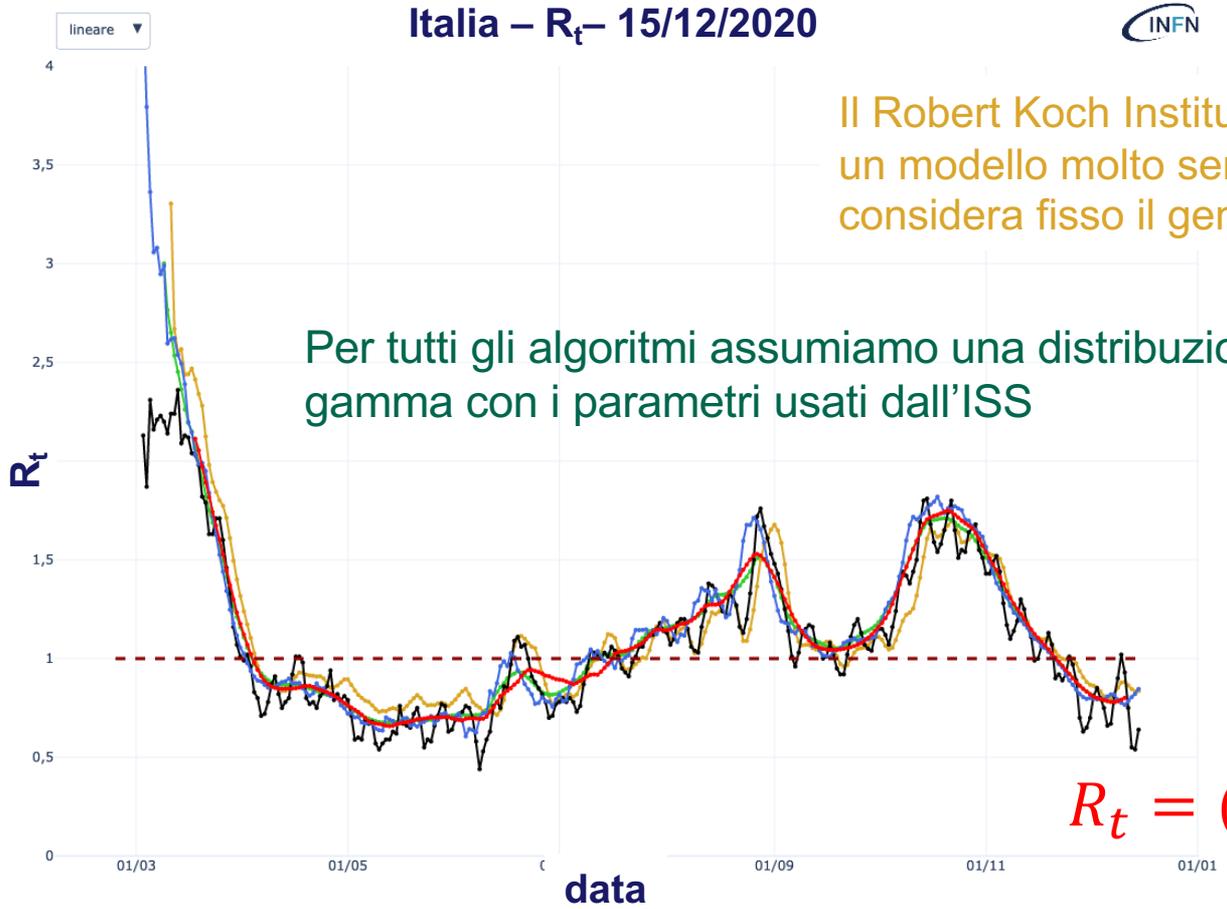
$$R_t = e^{\lambda g}$$

$$R_t = (1 + \lambda \theta)^\kappa$$

$$R_t = e^{\lambda g - \frac{1}{2} \lambda^2 \sigma^2}$$



# Confronto tra gli algoritmi per $R_t$



Italia –  $R_t$  – 15/12/2020



Il Robert Koch Institut tedesco usa un modello molto semplificato che considera fisso il generation time

Per tutti gli algoritmi assumiamo una distribuzione gamma con i parametri usati dall'ISS

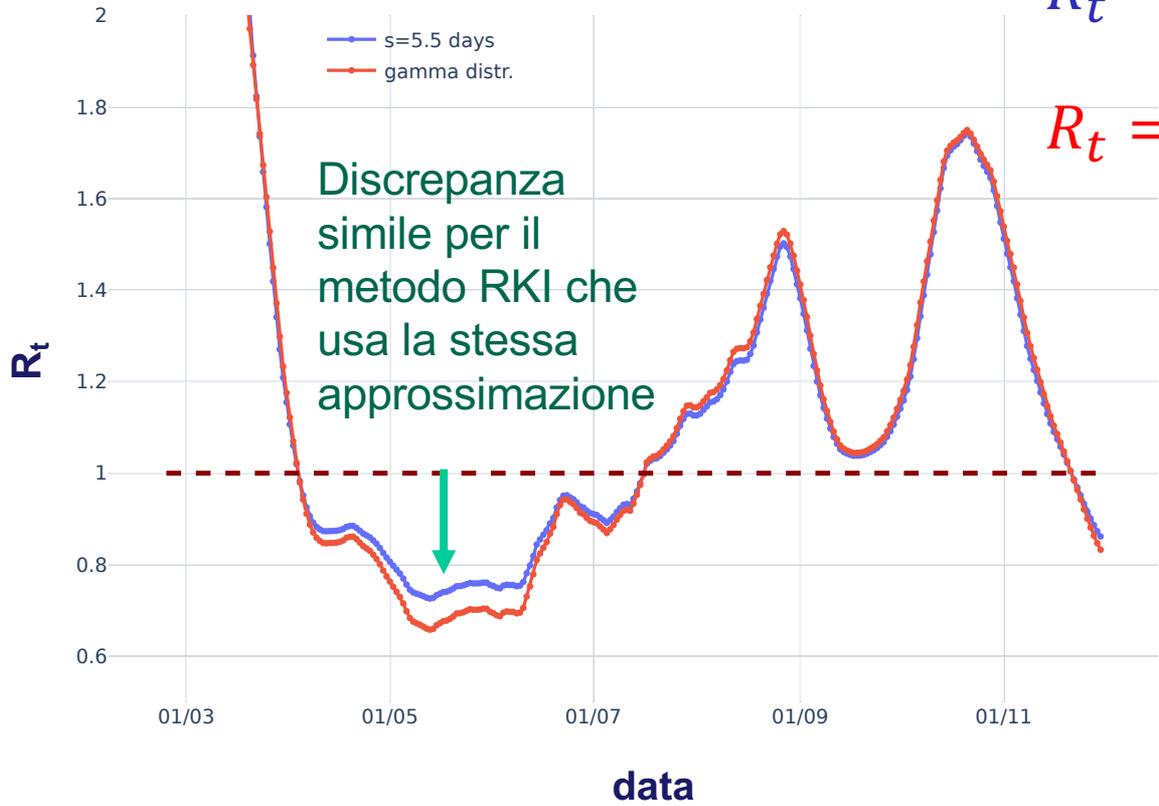
$$R_t = (1 + \lambda\theta)^\kappa$$



# Dettagli



### Italia – $R_t$ – 5/12/2020



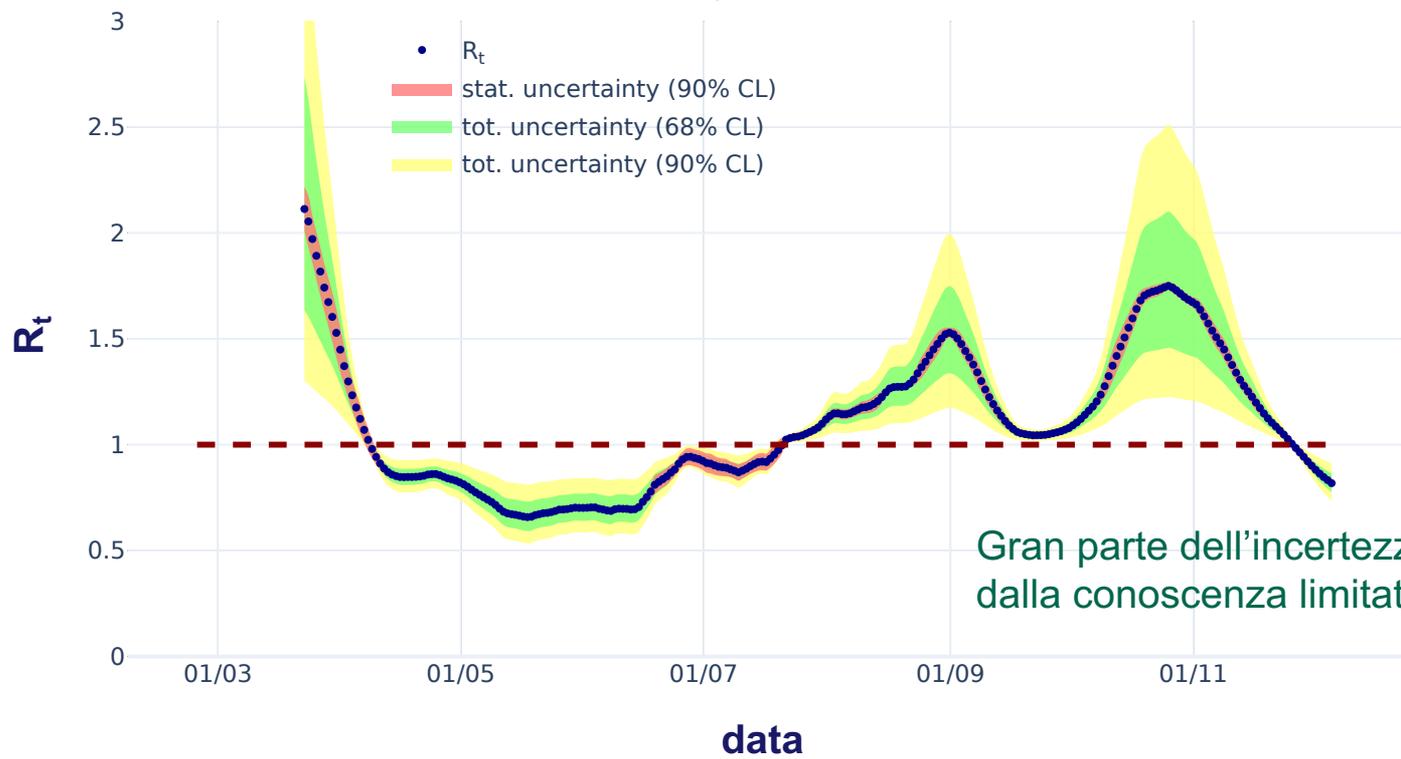
$$R_t = e^{\lambda g}, g = 5.5g$$

$$R_t = (1 + \lambda \theta)^\kappa$$



# Incertezze

## Italia – $R_t$ – 5/12/2020



Approfondimenti nel nostro articolo sottomesso a EPJ+  
<https://arxiv.org/abs/2012.05194>



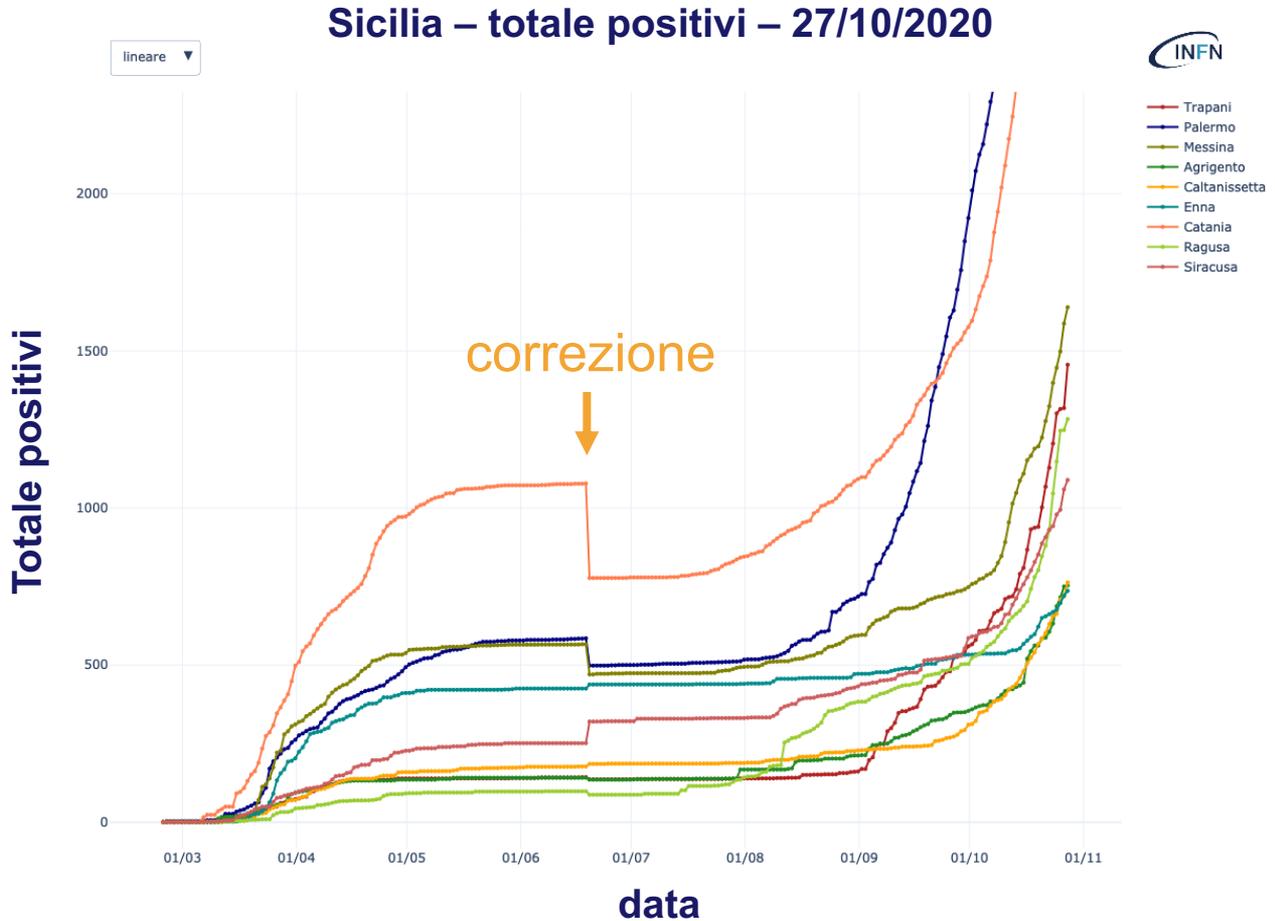
# Qualità dei dati



- Il numero di infetti accertati è inferiore al vero numero di casi infetti, probabilmente anche di molto
- I dati raccolti dal sistema sanitario possono essere incompleti o affetti da ritardi
- Sono più stabili il numero di decessi e di terapie intensive, ma anche qui a volte ci sono anomalie
- Non tutti i paesi «contano» i morti allo stesso modo. Alcuni non riportano quanti sono guariti



# Correzioni e ri-conteggi

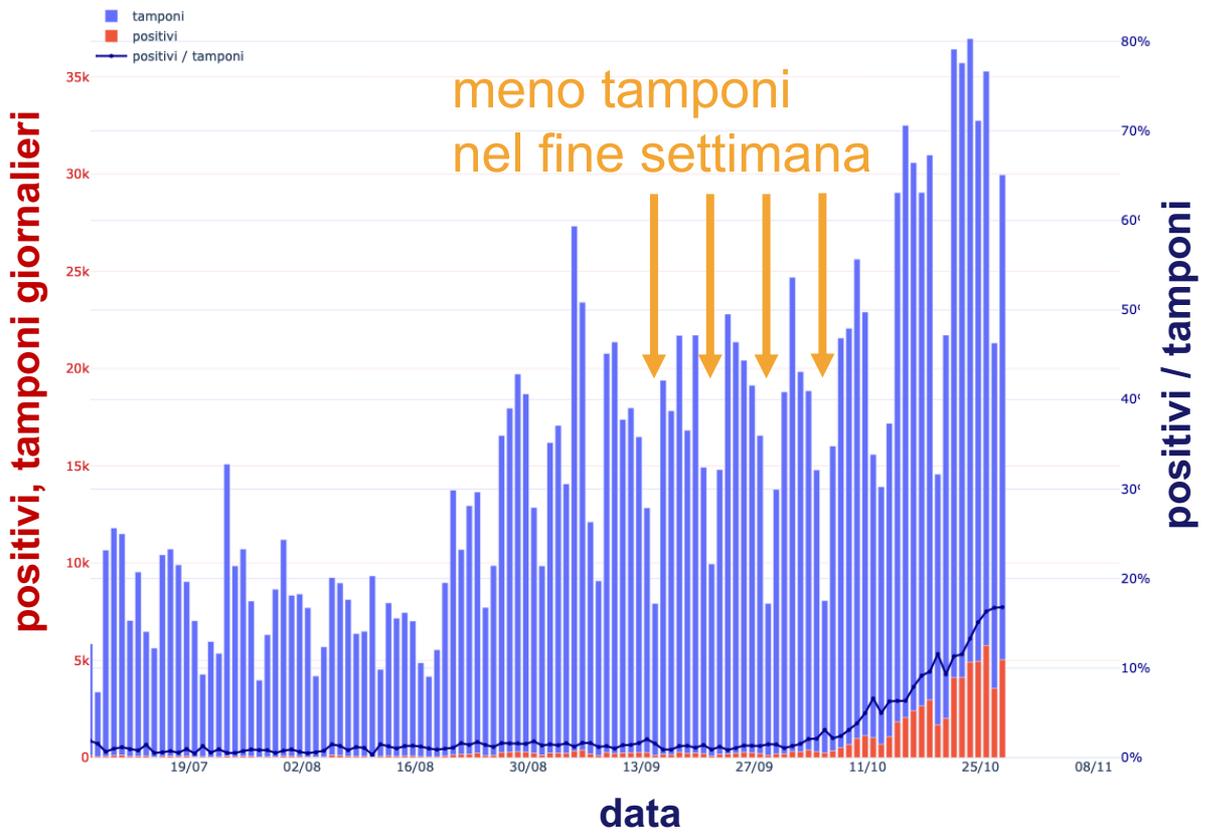




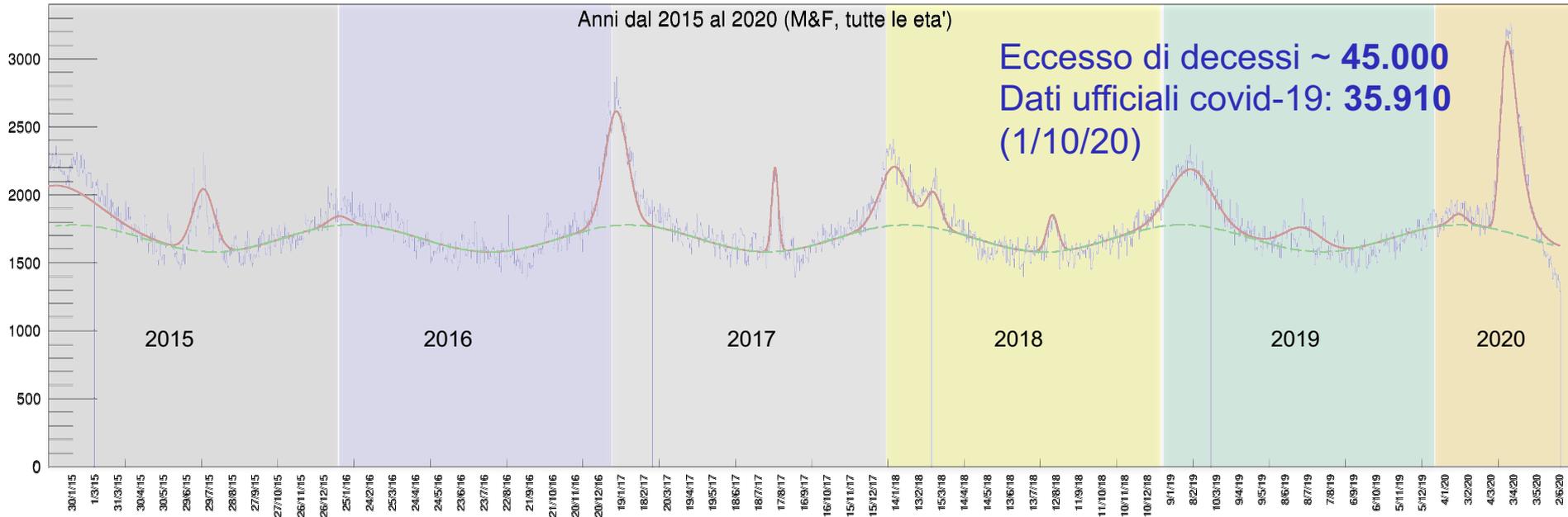
# Tamponi: effetto fine settimana



## Lombardia – positivi e tamponi – 27/10/2020



- Dati ISTAT, decessi quotidiani in Italia





# È possibile fare previsioni?

Per fare previsioni attendibili è necessario:

- Avere dati di buona qualità
- Avere un modello affidabile
  - Il modello SIRD può essere una base di partenza semplificata

Ogni previsione è necessariamente affetta da incertezze. Ma le incertezze si possono stimare, anche se non è sempre facile

Vero anche per le previsioni meteorologiche!

**Avendo le previsioni, bisogna prendere decisioni in base a quali obiettivi si vuole ottenere!**





# A cosa è servito il lockdown

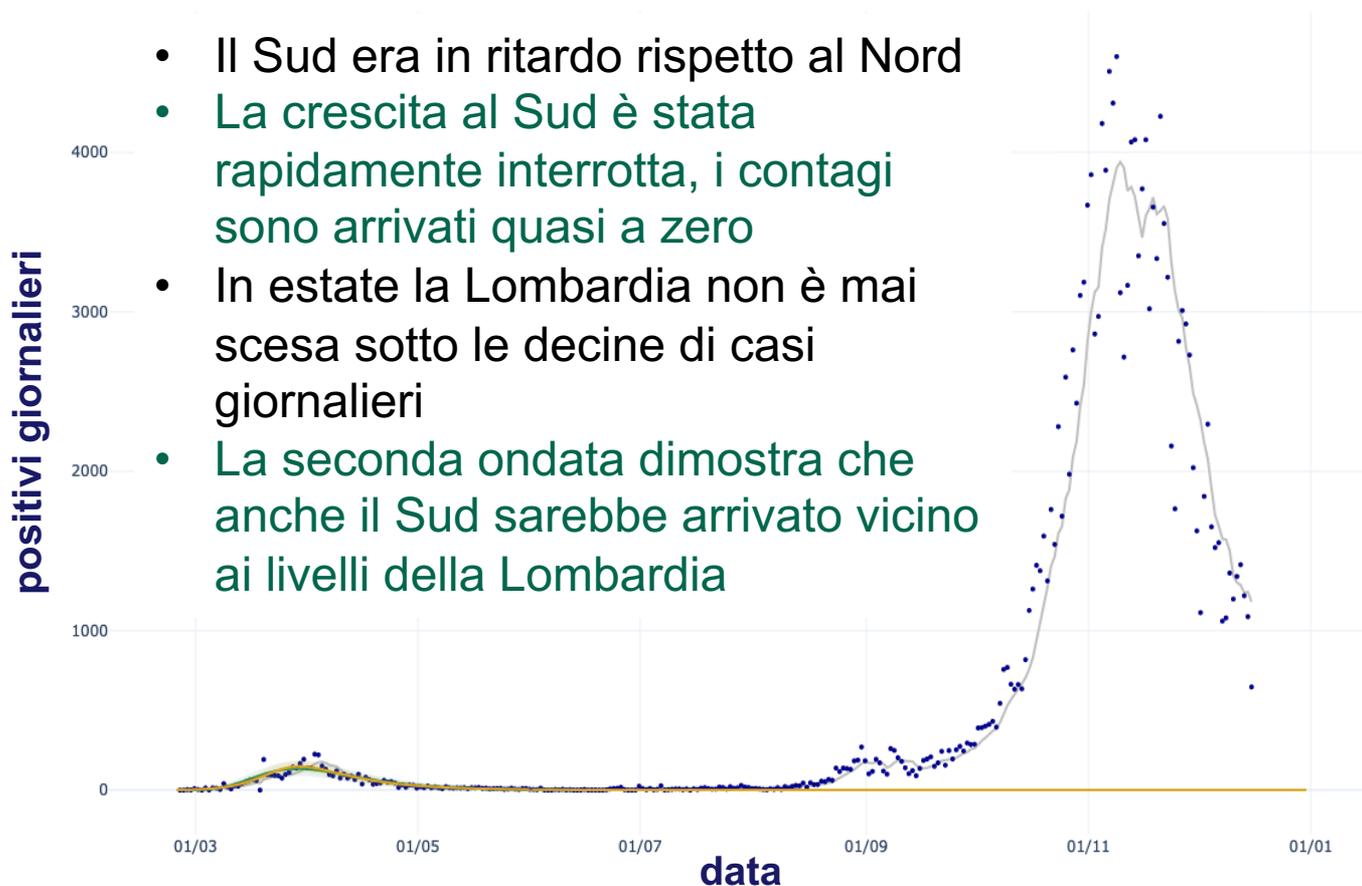


lineare ▾

## Campania – positivi giornalieri – 15/12/2020



- Il Sud era in ritardo rispetto al Nord
- La crescita al Sud è stata rapidamente interrotta, i contagi sono arrivati quasi a zero
- In estate la Lombardia non è mai scesa sotto le decine di casi giornalieri
- La seconda ondata dimostra che anche il Sud sarebbe arrivato vicino ai livelli della Lombardia





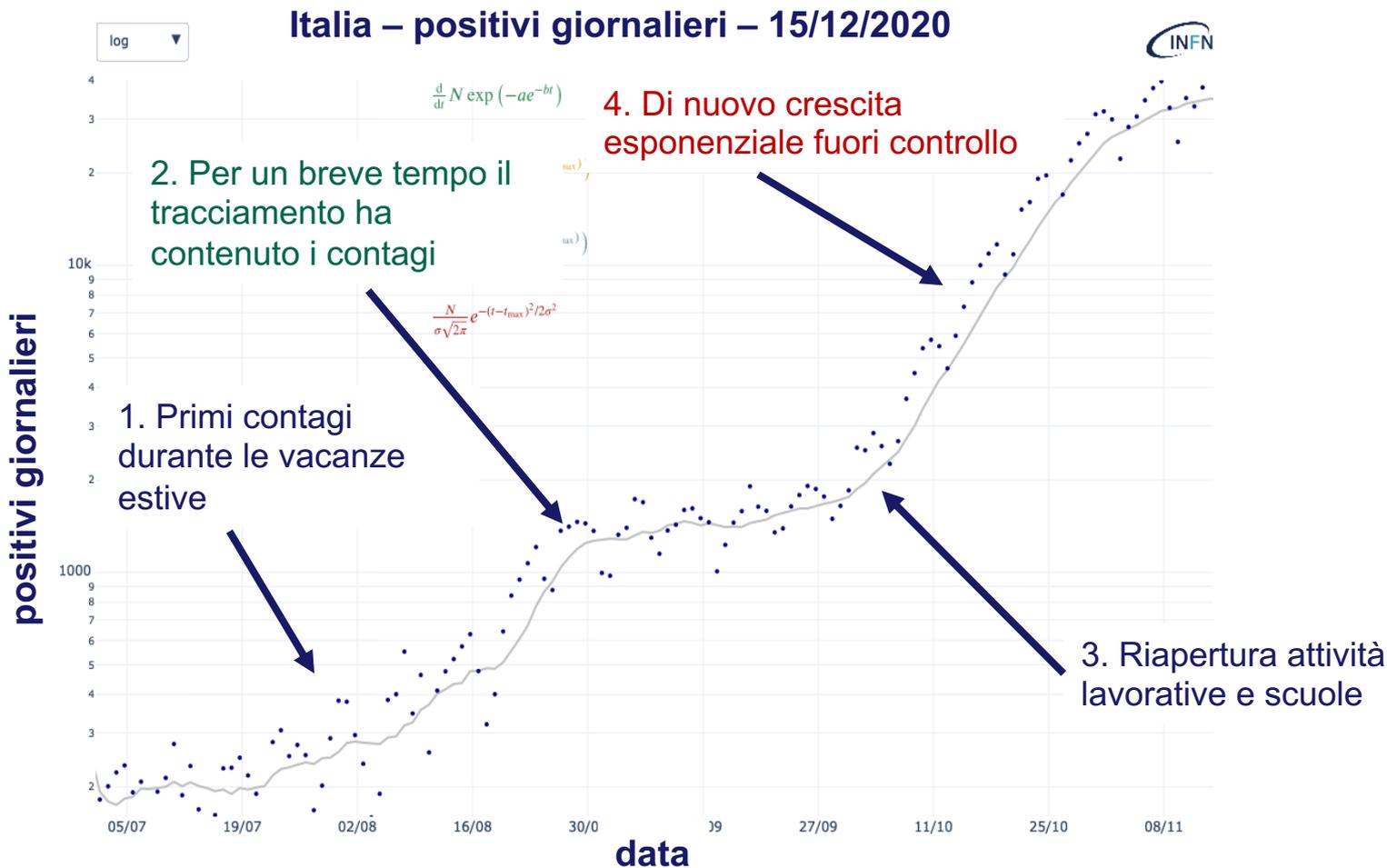
# A cosa è servito il lockdown

- **Sviluppate migliori terapie** che hanno fatto guarire più casi
  - Mortalità quasi dimezzata rispetto a marzo
  - Difficile con crescita incontrollata e gli ospedali in affanno
- **Il vaccino è oggi più vicino**
- **Non tutti gli italiani sono diventati migliori, come qualcuno sperava**





# Seconda ondata





# Come ne usciamo fuori?

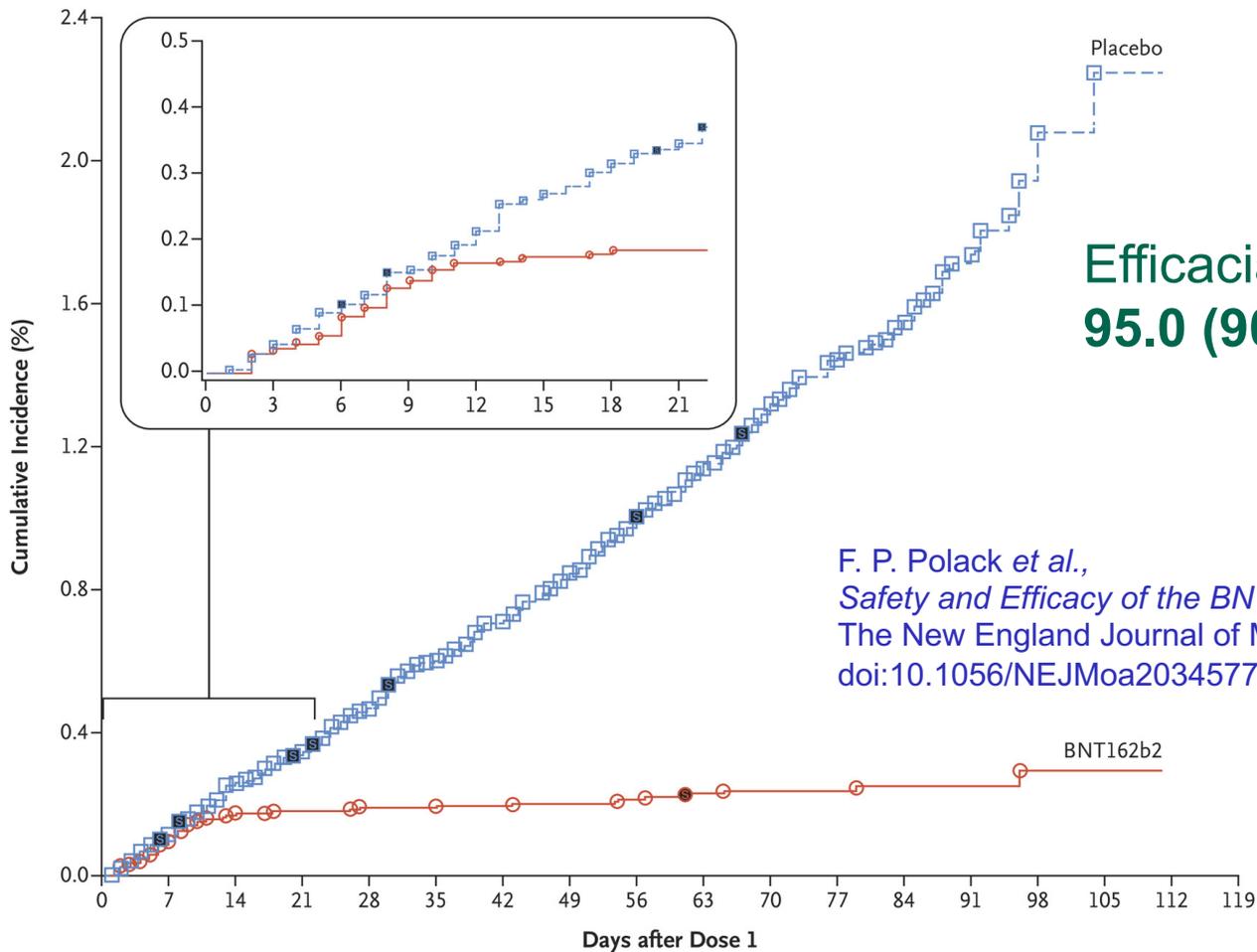
1. Immunità di gregge quando la frazione di infettati è  $1 - \frac{1}{R_0}$ 
  - Con  $R_0 \approx 3$ , il 68% della popolazione deve infettarsi (40 milioni!)
  - Se circa il 2% degli infetti muore<sup>[\*]</sup>, si arriverà a 800.000 morti o più ottimisticamente la metà o meno se la sanità avrà l'opportunità di curarli al meglio
  - Non è detto che l'immunità duri a lungo
2. Si applicano misure restrittive, ma il contenimento deve essere sufficientemente lungo fino a che il numero di contagi scende a zero o almeno ad un numero gestibile
  - Molto vicini quest'estate
  - Ci sono arrivati in Cina e Nuova Zelanda con metodi diversi
3. Un vaccino ridurrebbe la popolazione suscettibile abbassando  $R_t$  sotto la soglia 1



[\*] stima dal caso della nave Diamond Princess ed altri



# Il vaccino



Efficacia dopo 7 giorni:  
**95.0 (90.3–97.6)%, 95% CI**

F. P. Polack *et al.*,  
*Safety and Efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine*  
*The New England Journal of Medicine*, 10-12-2020  
doi:10.1056/NEJMoa2034577

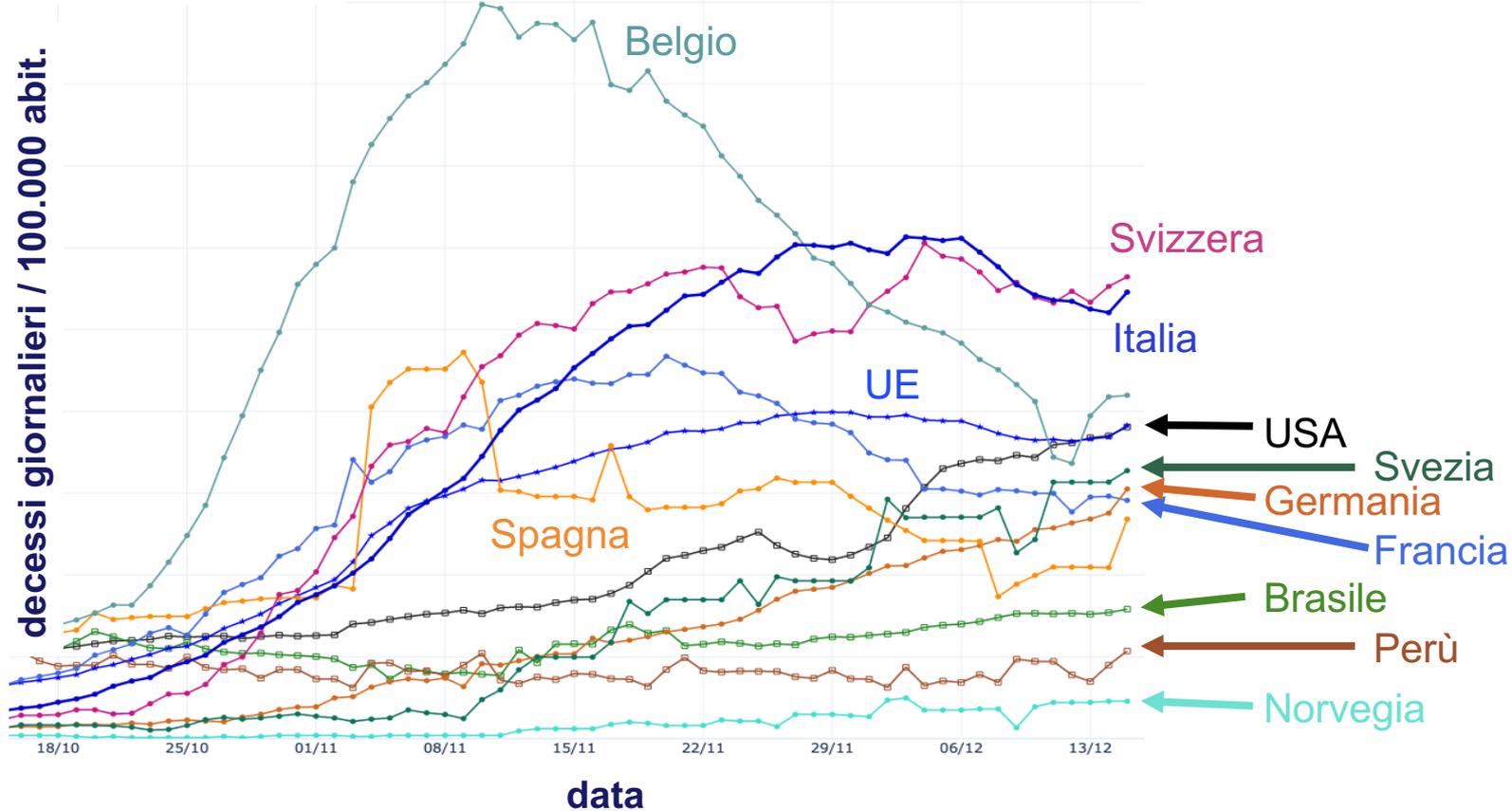


# Cosa succede nel Mondo



## Mondo – decessi giornalieri – 15/12/2020

Media mobile a 7 giorni

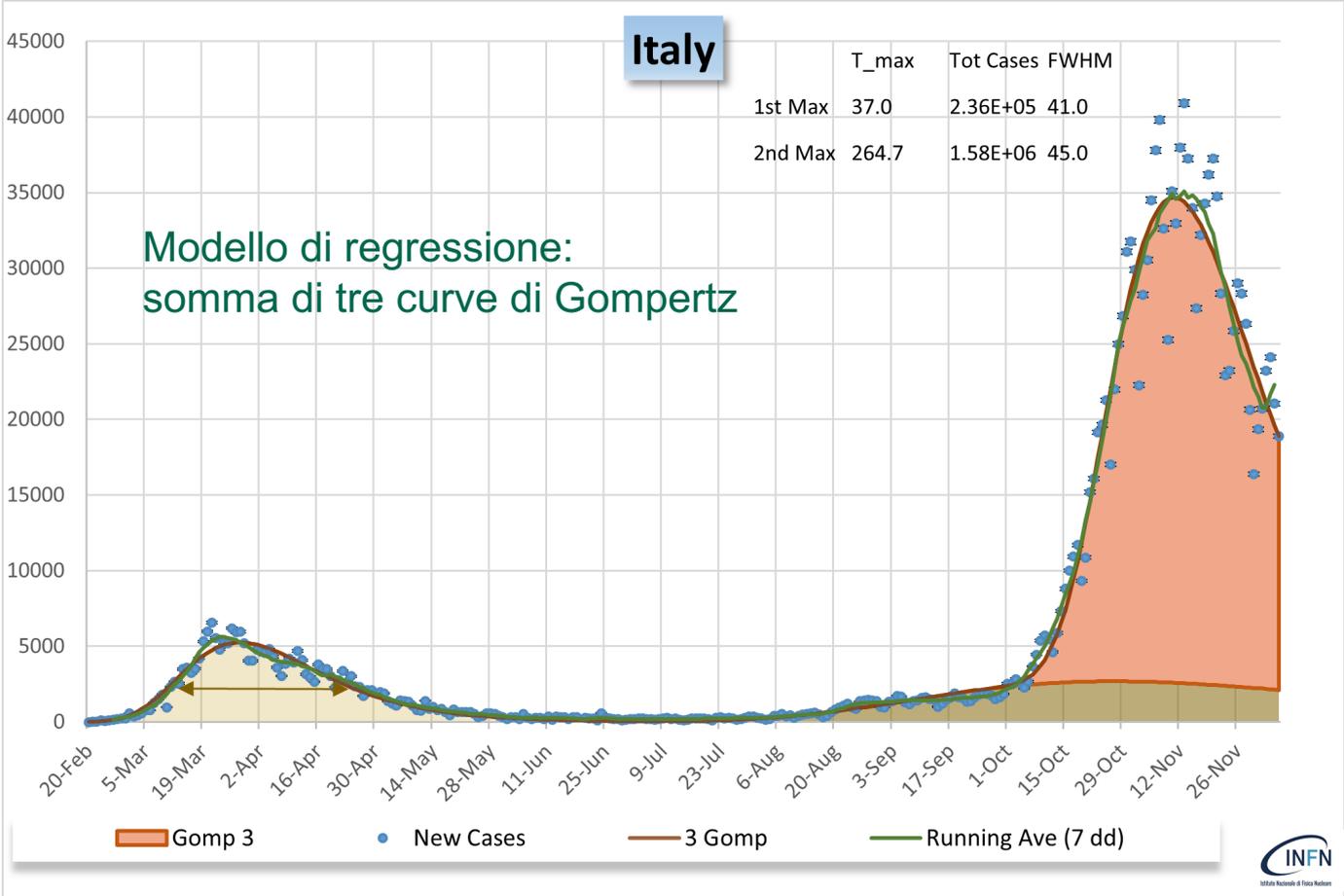




# Italia



positivi giornalieri

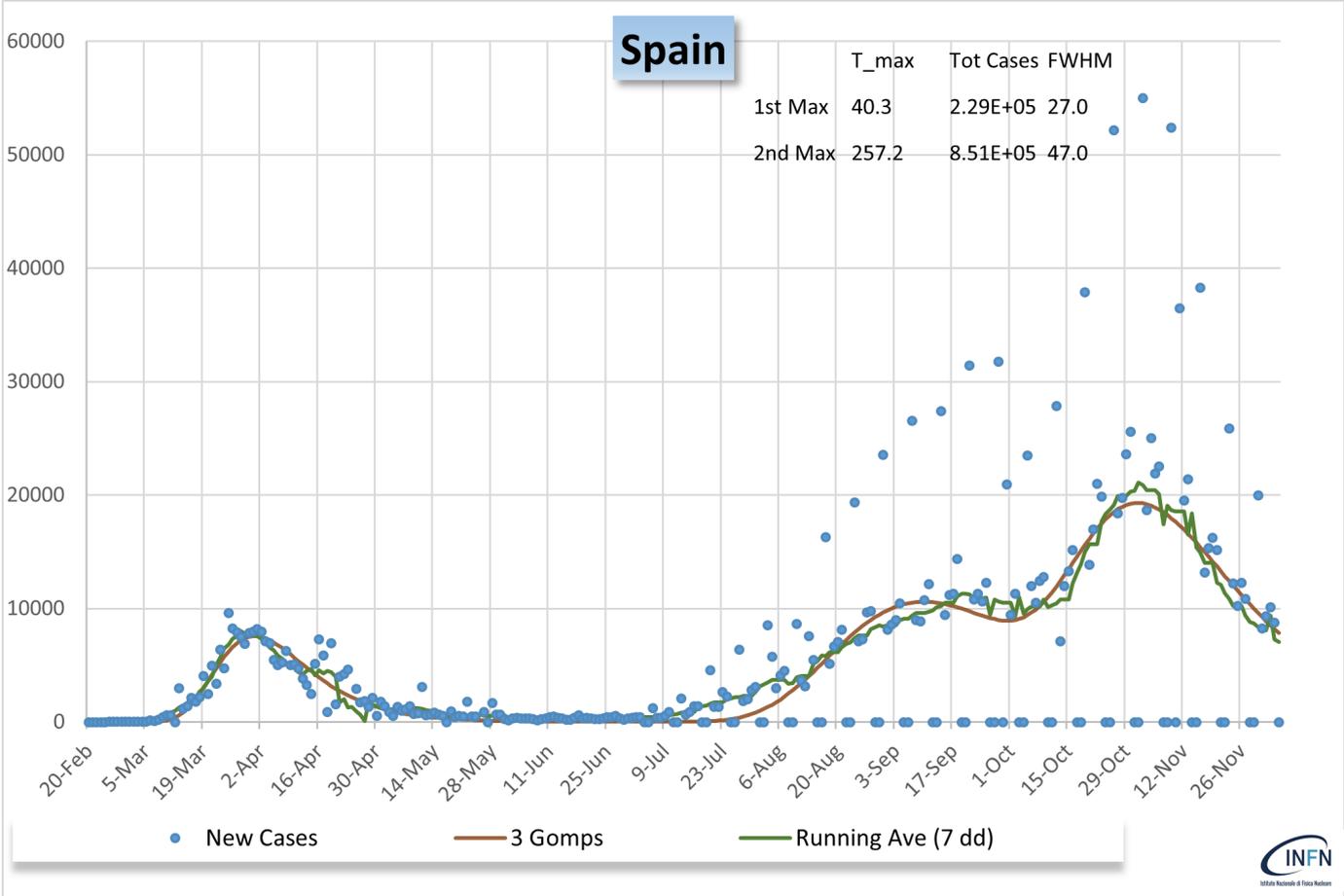




# Spagna



positivi giornalieri

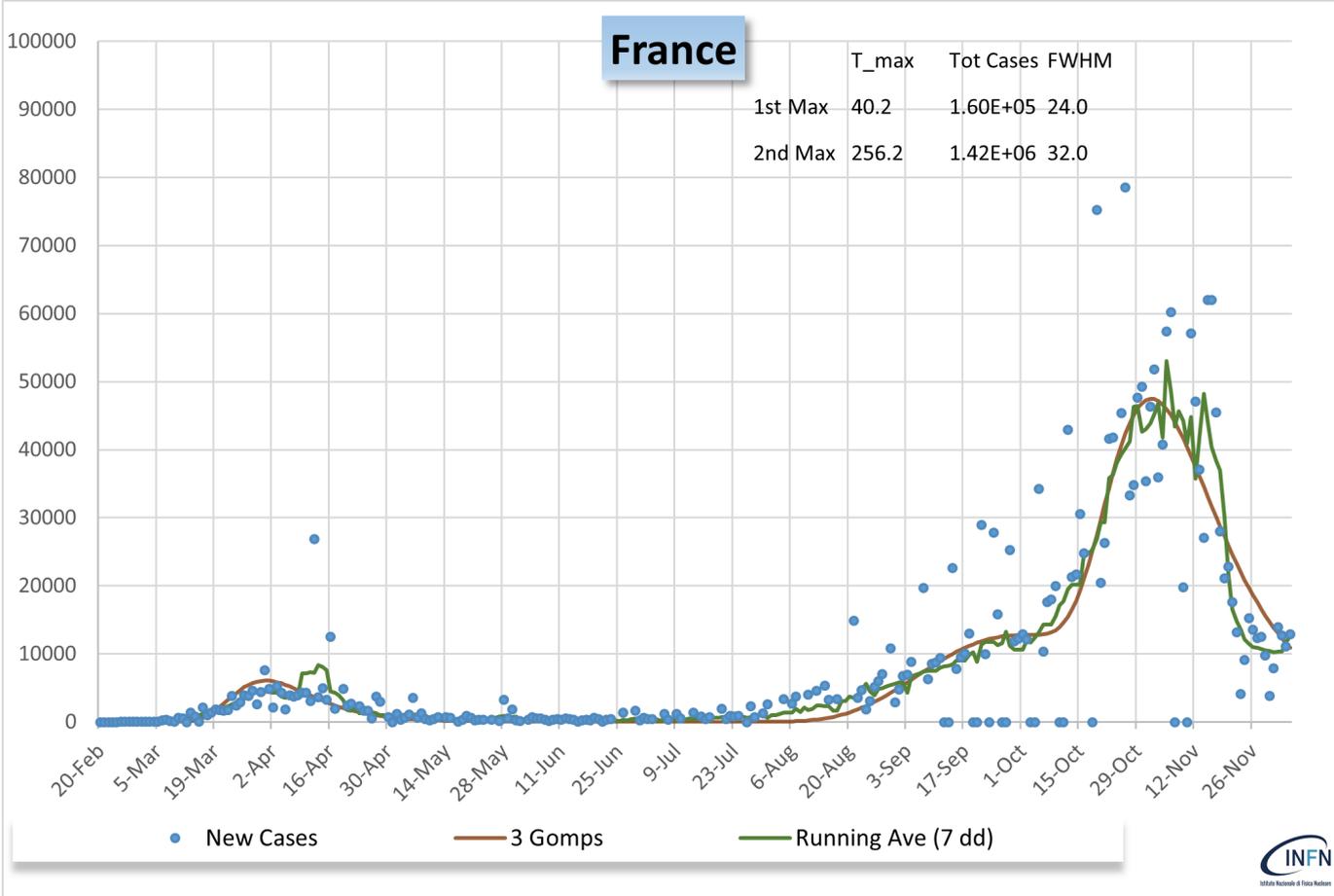




# Francia



positivi giornalieri

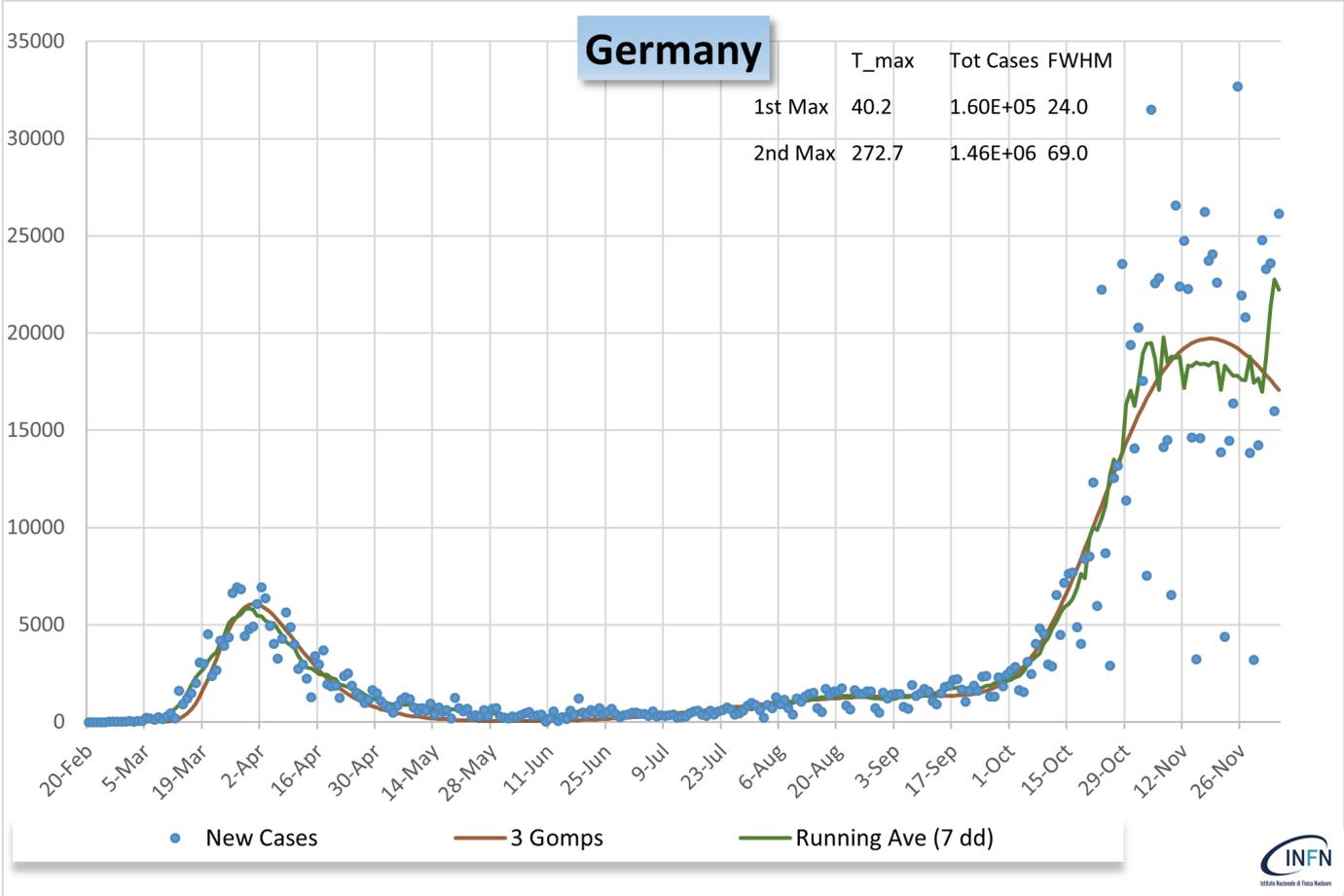




# Germania



positivi giornalieri

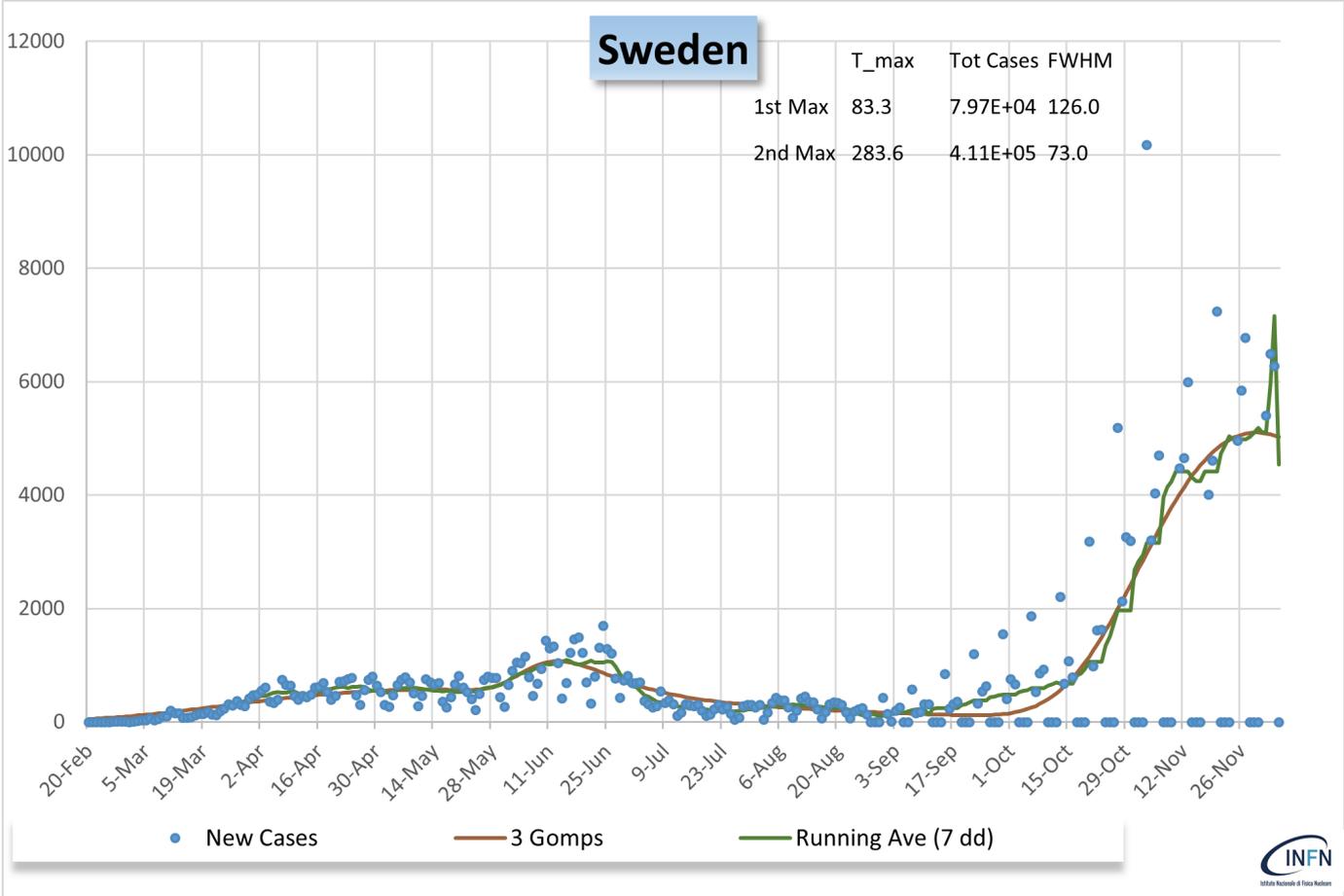




# Svezia



positivi giornalieri

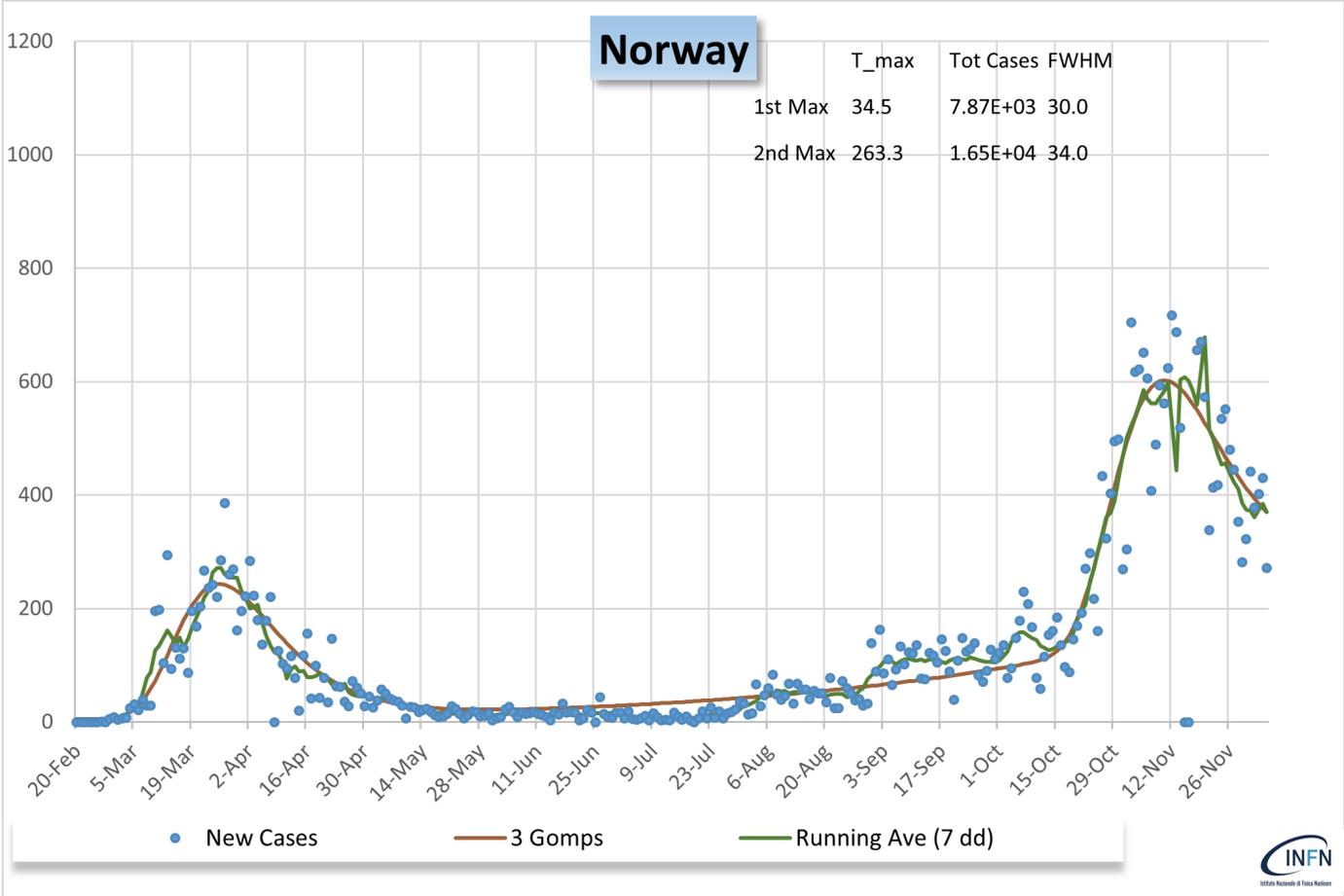




# Norvegia



positivi giornalieri

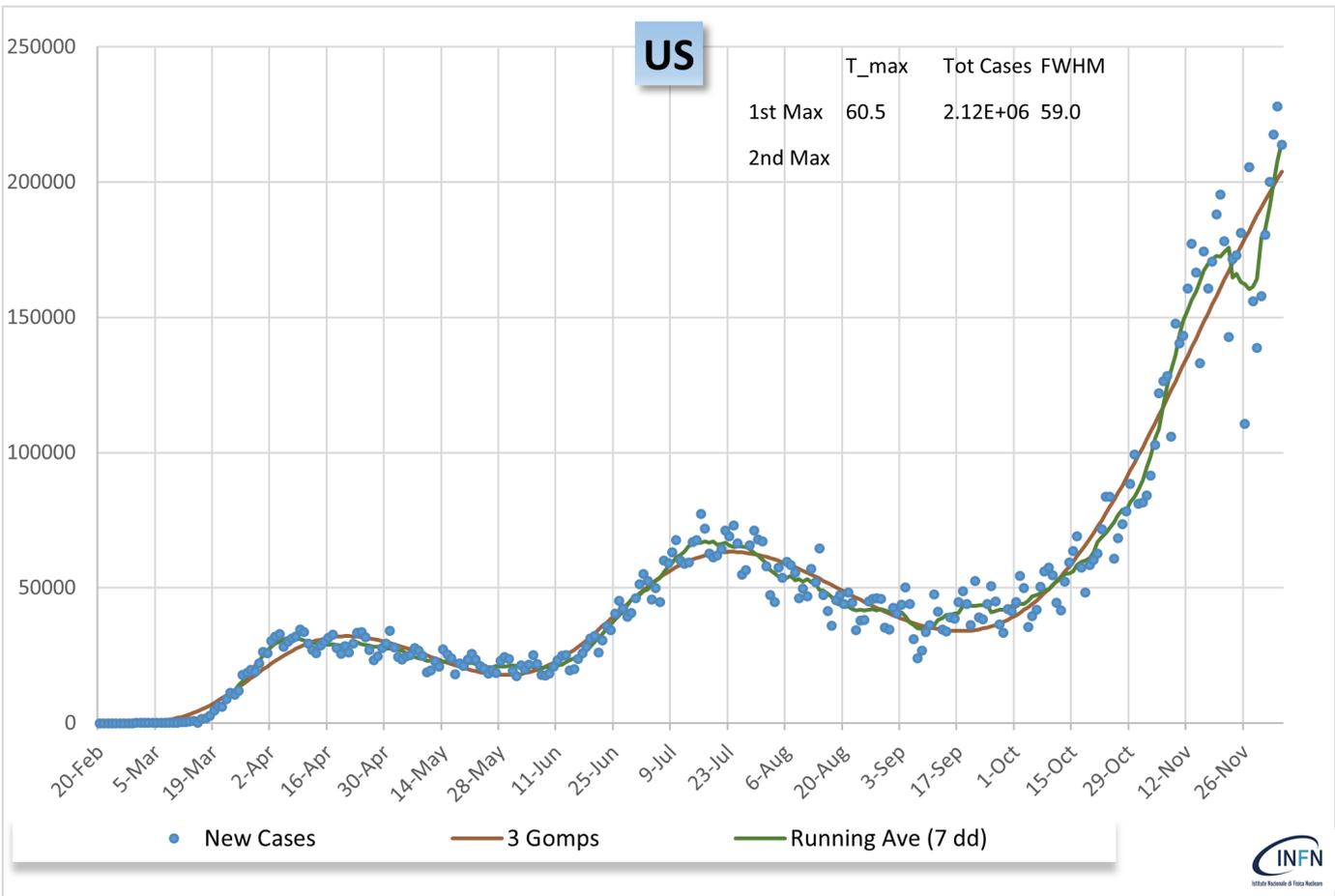




# USA



positivi giornalieri

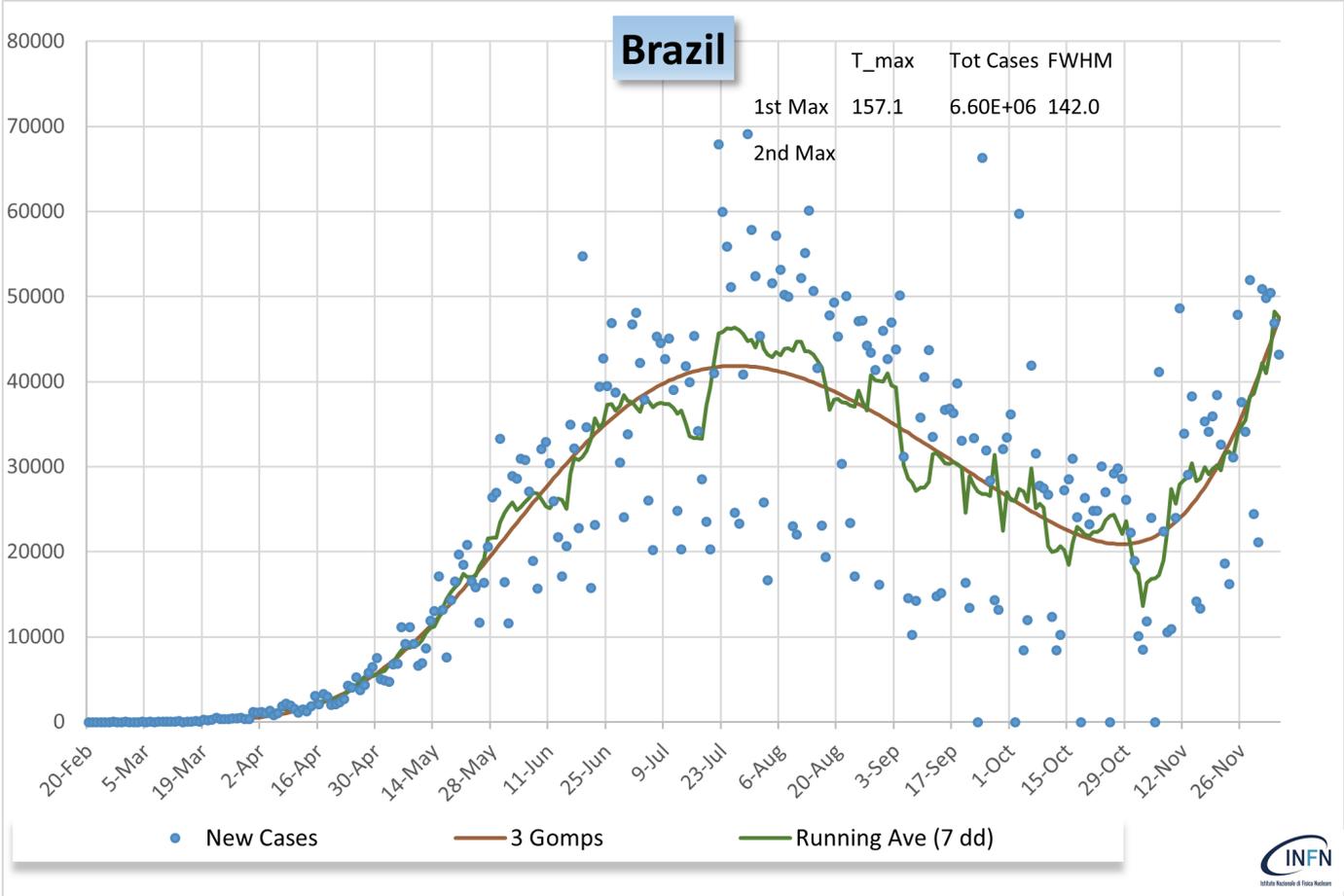




# Brasile



positivi giornalieri

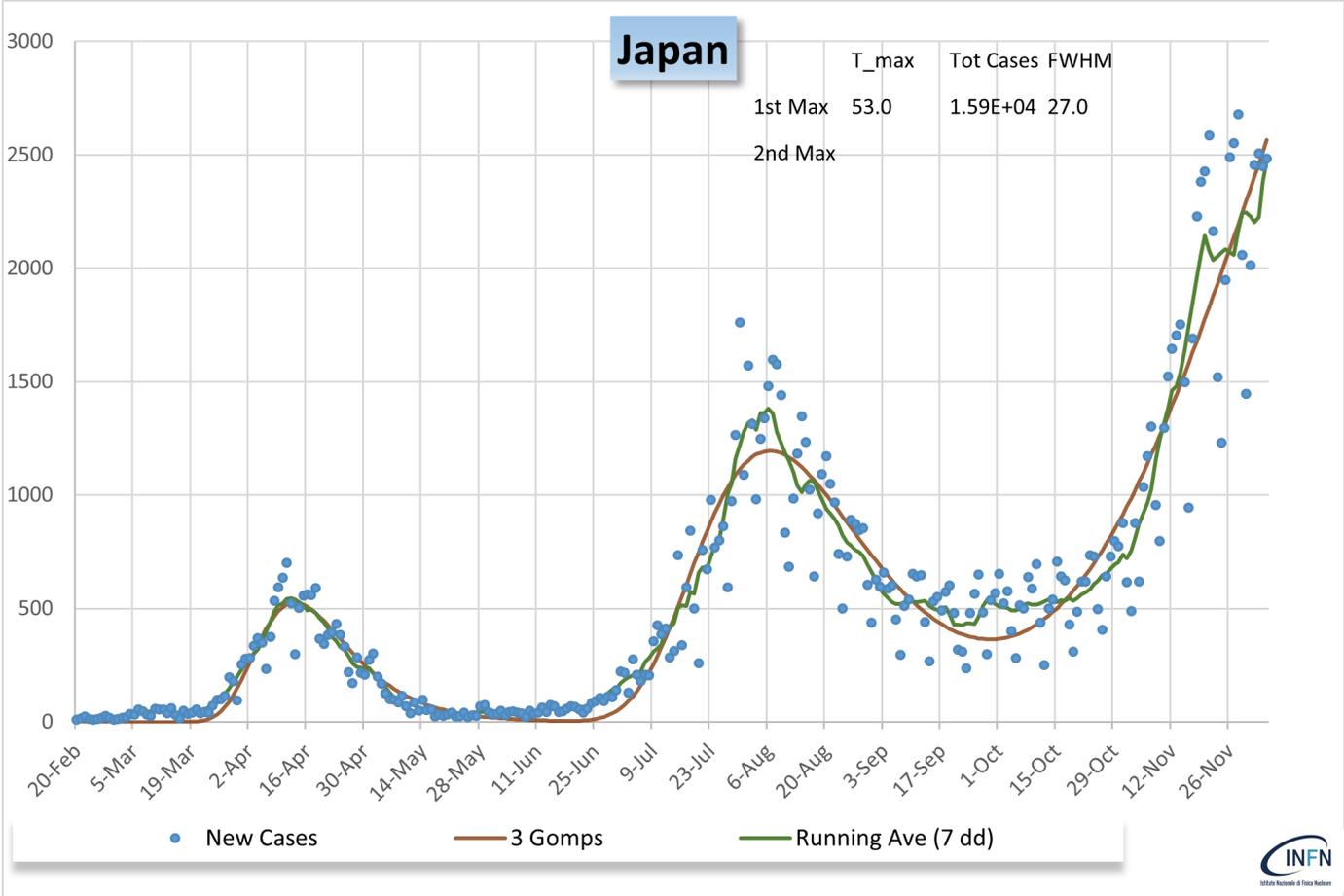




# Giappone



positivi giornalieri





# Conclusioni

- Le scelte politiche e personali sono razionali e consapevoli se si tiene conto delle conseguenze che si possono prevedere in base ai dati
- Ogni previsione ha delle incertezze che possono essere stimante, ma le incertezze possono anche essere grandi
- Le incertezze si riducono se sono disponibili più dati e di migliore qualità
  
- Il confronto tra esperti in materie complementari è utile quando c'è collaborazione
- **Chi non ha strumenti per fare valutazioni attendibili è meglio che ascolti chi ha competenza specifica piuttosto che le opinioni di chi si informa in rete**

[covid19.infn.it](https://covid19.infn.it)



# Backup



# Cronologia Covid 19



**17/11/2019:** primo caso nella provincia di Hubei, non riconosciuto

**31/12/2019:** avvisata Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)

**14/1/2020:** Cina+OMS: non c'è prova di trasmissione uomo-uomo

**22-23/1/2020:** lockdown Wuhan e provincia Hubei (60 milioni di abitanti)

**30/1/2020:** primi 2 casi in Italia (turisti cinesi)

**12/2/2020:** Cina inizia a considerare anche gli asintomatici

**23/2/2020:** Italia, quarantena per 11 comuni (50.000 abitanti)

**4/3/2020:** Italia, chiusura scuole

**7/3/2020:** Nicola Zigarette positivo

**8/3/2020:** lockdown Lombardia e varie province (16 milioni abitanti)

**9/3/2020:** lockdown Italia

**15/4/2020:** Cina cambia il conteggio dei decessi (+50%)

**4/5/2020:** prima fase riapertura Italia

**18/5/2020:** seconda fase riapertura Italia

**16/8/2020:** chiusura discoteche dopo i contagi in Sardegna

**26/8/2020:** Flavio Briatore positivo

**2/9/2020:** Silvio Berlusconi positivo

**14/9/2020:** riapertura scuole

**24/10/2020:** chiusura palestre, teatri e locali alle 18

**6/11/2020:** definizione zone gialle, arancioni, rosse.

**15/11/2020:** Campania in zona rossa

**4/12/2020:** Campania in zona arancione

**10/12/2020:** Pubblicati i primi risultati sull'efficacia del vaccino