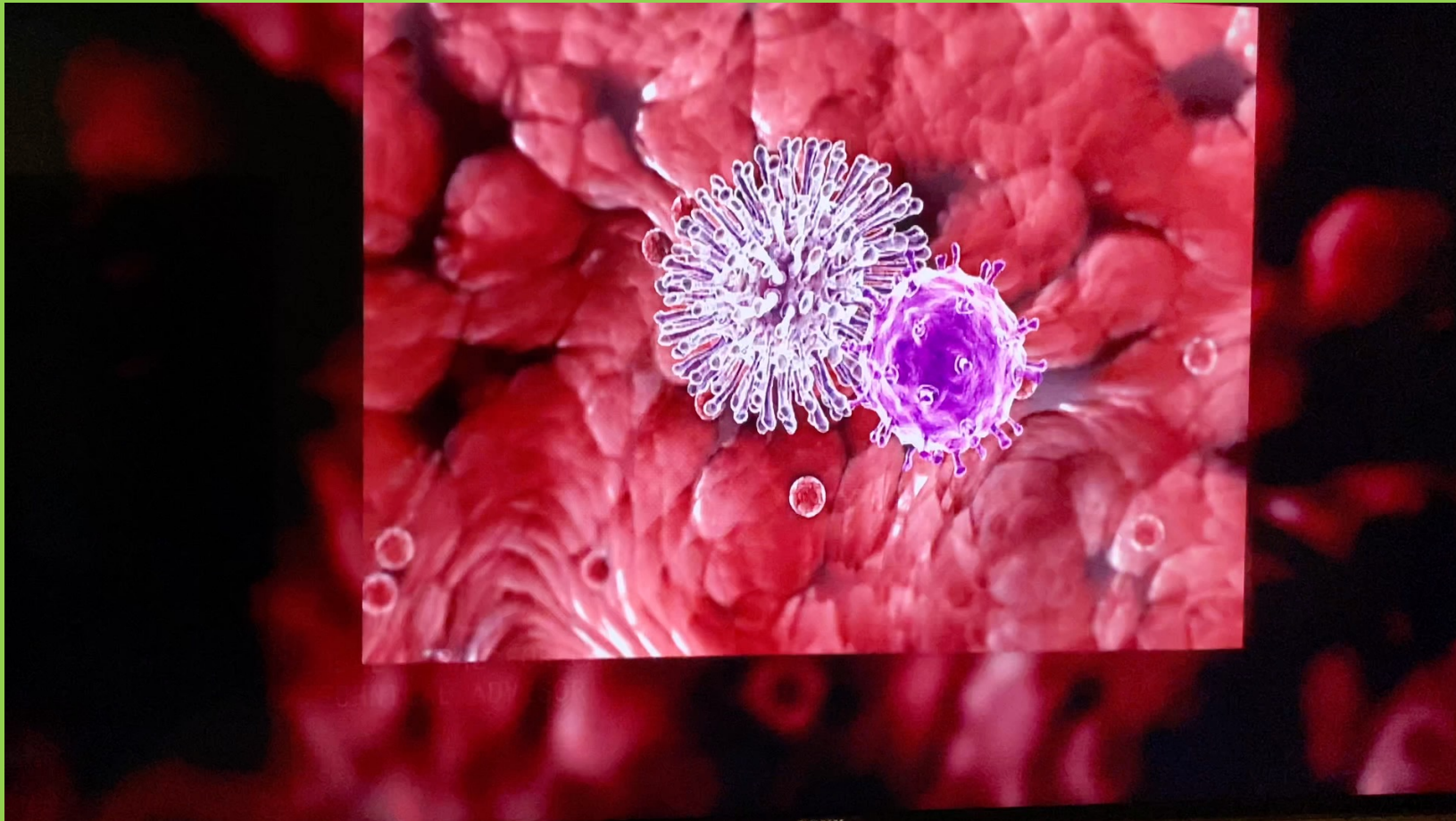


# Mathematica e CO-VI-D-19

## La matematica del contagio

Prof. D. Lo Iacono



# SARS = Severe Acute Respiratory Syndrome (Grave sindrome respiratoria acuta)

Anno 2002;

mese Novembre

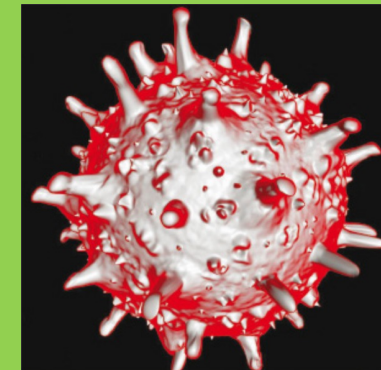


nella provincia  
cinese di Guangdong  
viene scoperta la **SARS**



Si tratta di

Virus della specie SARS-related coronavirus, all'origine  
dell'epidemia SARS del 2002



Meglio noto come **Sars-nCov-1**

# Quando si inizia a stare male?

## Sars-nCov-1

SARS = **Severe Acute Respiratory Syndrome**  
(*Grave sindrome respiratoria acuta*)

**Periodo di incubazione di un virus**

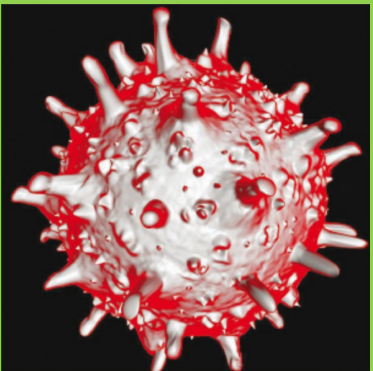


**Tempo** che passa tra l'esposizione al virus (il momento del **contagio**) e la comparsa **dei sintomi**

**Periodo di incubazione Sars-nCov-1**



L'**OMS** rimane del parere che la migliore stima del massimo periodo di incubazione sia di 10 giorni



# Sars-nCov-1



Inizio pandemia 1° Novembre 2002

Fine pandemia 31 agosto 2003

N° Contagi **8096**

N° decessi **774**

**Paesi coinvolti:** Cina, Hong Kong, Taiwan e in tutto il sud-est asiatico-

# Sars-nCov-2

Anno 2019

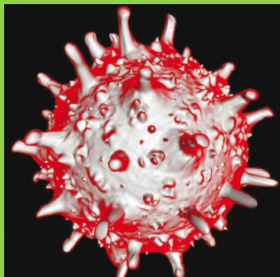
17 anni dopo



Scoperto un **nuovo ceppo**,  
proveniente con molta probabilità dal  
mercato del pesce **Wuhan**, (CINA)

**Il nuovo virus è ancora una Sars**

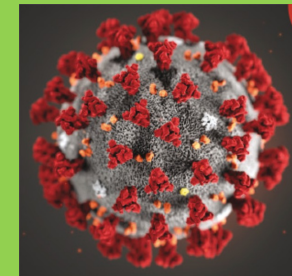
Per l'attinenza, la struttura e la similitudine al virus del 2002, **l'OMS** (Organizzazione Mondiale della Sanità), decide di dare il nome inizialmente:



**2002**

**SARS-nCov-2**

Nome successivamente modificarlo in

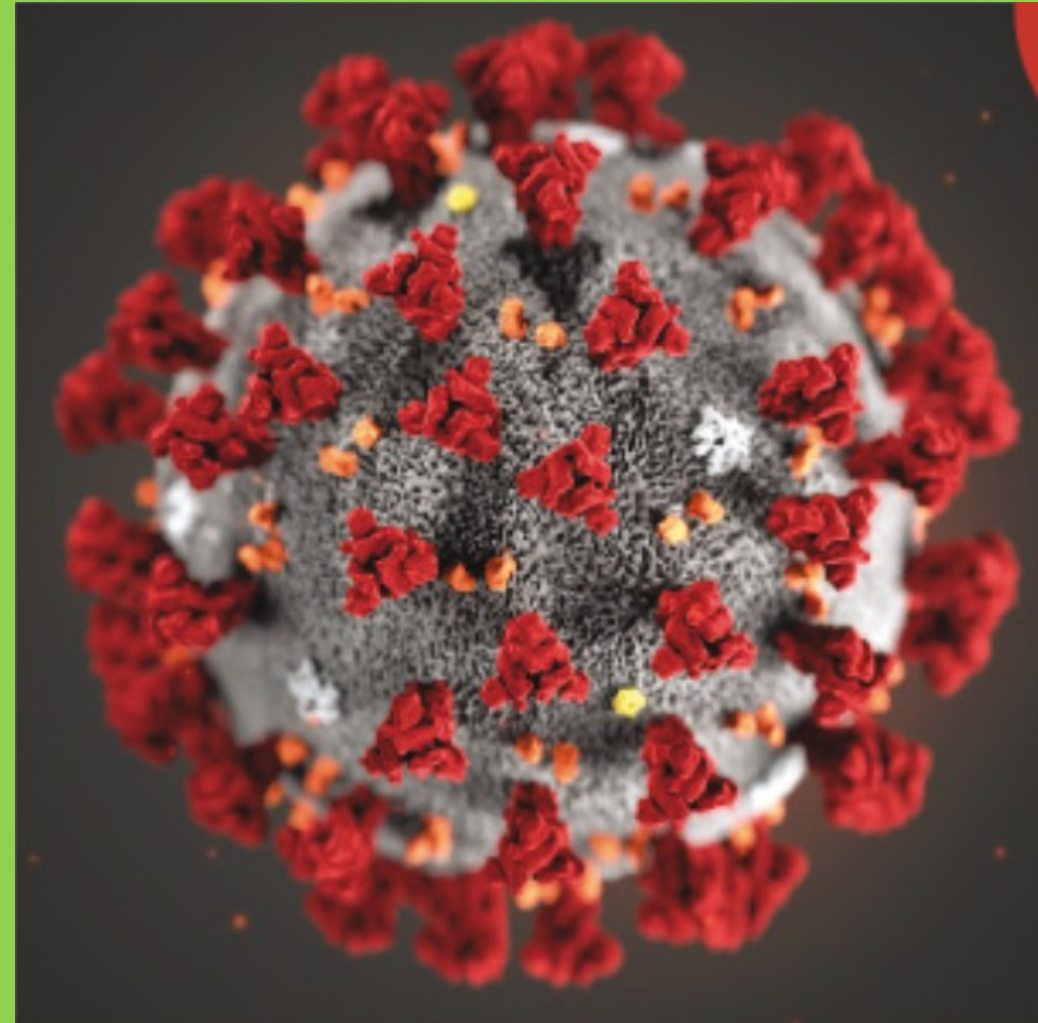


**2019**

**Co-Vi-D-19**

# 17 anni dopo

Sars-nCov-1



Sars-nCov-2

Arriva un nuovo virus ?

O il virus si trasforma ?

## Di nuovo un SARS

# Cosa significano le sigle CoViD-19 ?

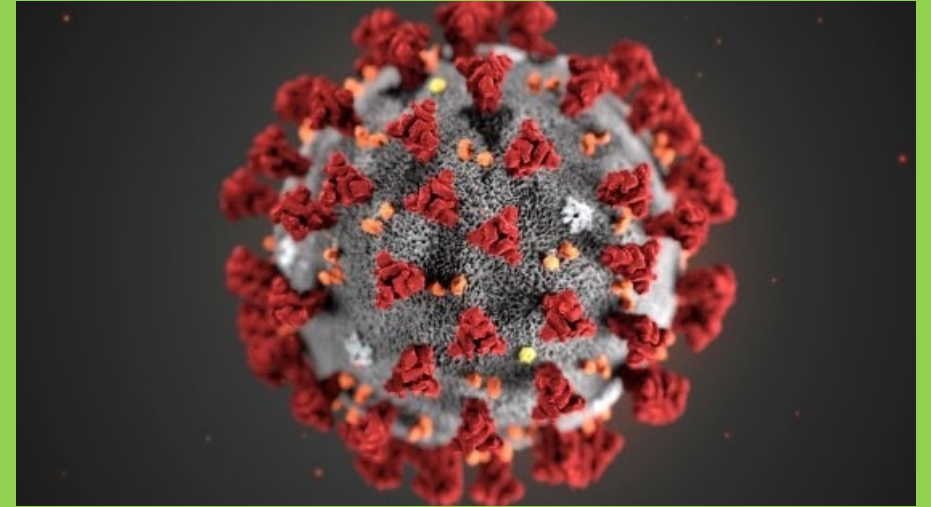
**Co-Vi-D-19**

**Co = corona per la forma del virus,**

**Vi = Virus**

**D = disease (malattia)**

**19 = 2019, l'anno in cui si è manifestato**



Rappresenta una corona vista in 3D

# Quando si inizia a stare male? Sars-nCov-2

SARS = **Severe Acute Respiratory Syndrome**  
*(Grave sindrome respiratoria acuta)*

Periodo di  
incubazione  
di un virus

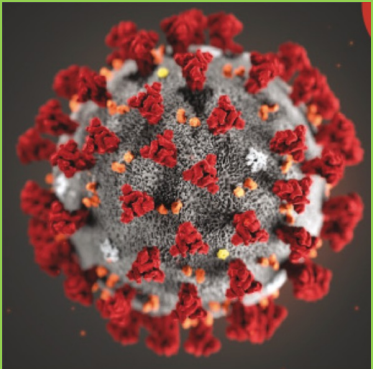


**Tempo** che passa tra l'esposizione al virus (il momento del **contagio**) e la comparsa **dei sintomi**

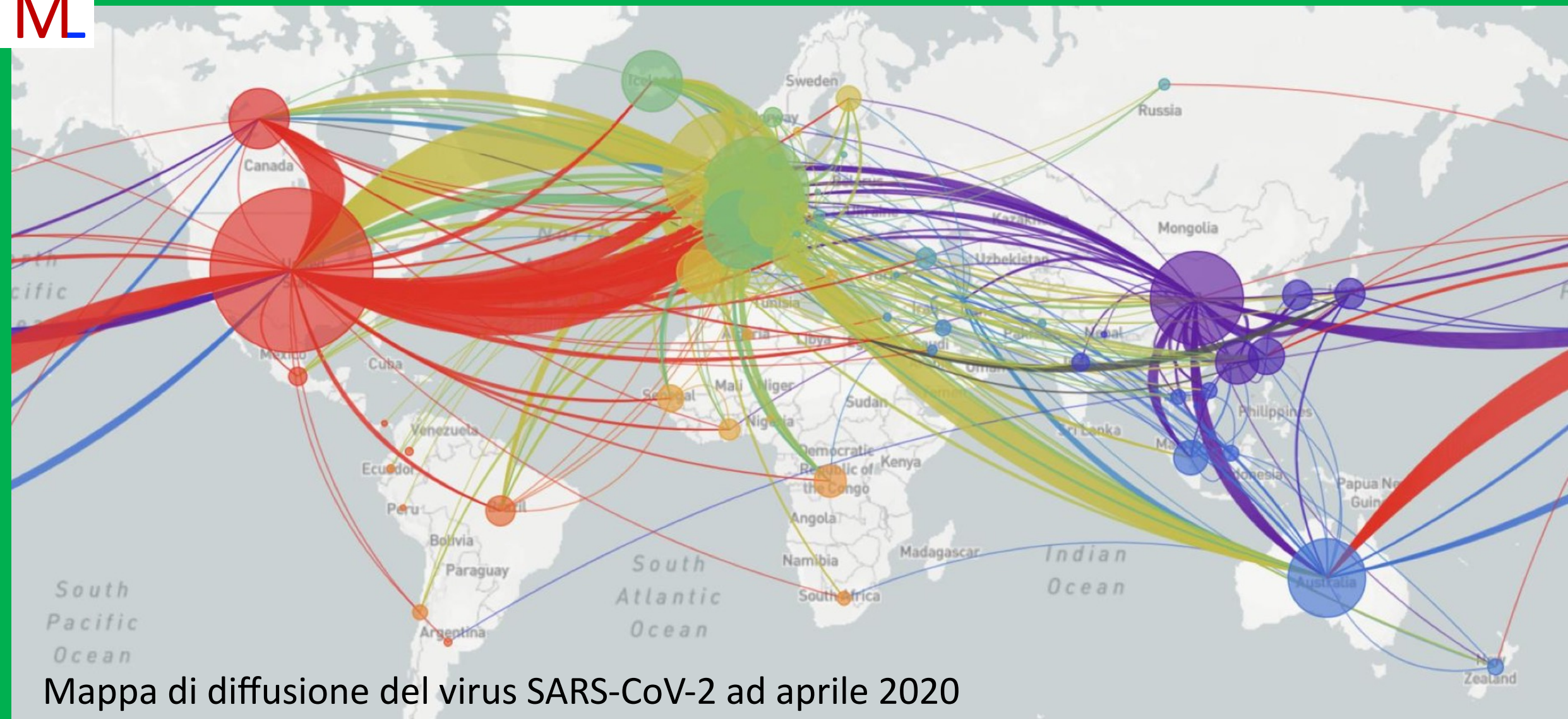
Periodo di  
incubazione  
**CoViD\_19**



è in media di 5-6 giorni.  
Può variare, in rari casi, da 2 fino a 14 giorni



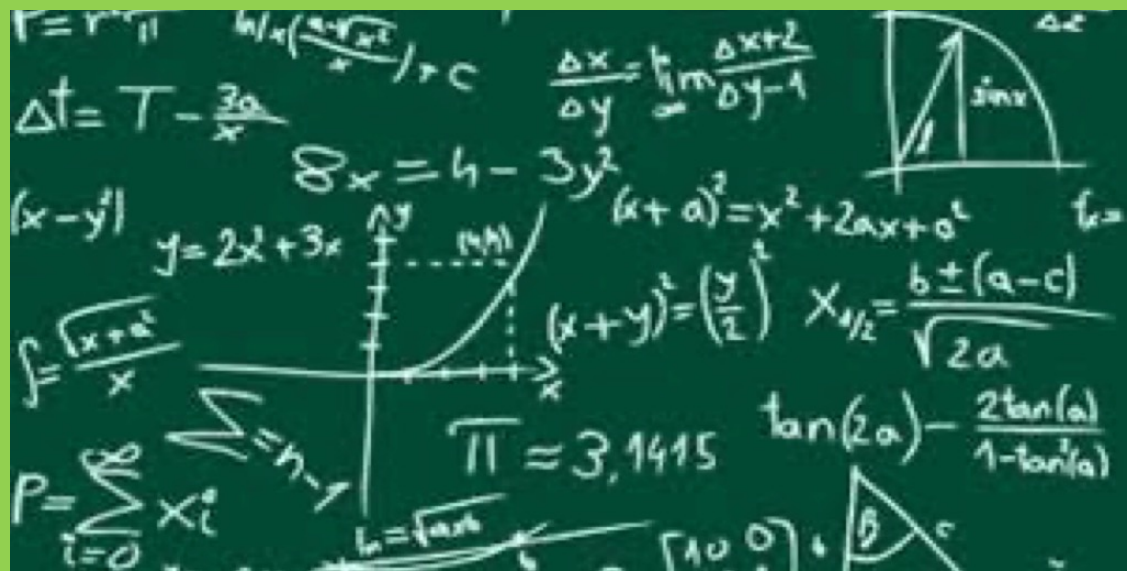




Mappa di diffusione del virus SARS-CoV-2 ad aprile 2020

I tre colori (rosso, verde e viola) indicano i tre sottotipi principali identificati di virus ad aprile 2020 (Nextstrain)

# Ma: qual è la relazione tra la matematica e la pandemia



R  
e  
l  
a  
z  
i  
o  
n  
e



## Che ruolo ha la matematica nella lotta al covid ?

## *Siamo in piena Emergenza*

La popolazione mondiale cerca risposte

Conforto e informazioni

dal Web

dalla TV

da fonti autorevoli

in questi mesi è stato fondamentale il lavoro di medici specializzati, che, avvalendosi di **dati statistici e modelli forniti dalla matematica**, attraverso l'analisi del fenomeno hanno cercato di fornire previsioni sull'andamento della malattia in maniera chiara a chiunque comprenda un po' di **linguaggio matematico**.

***Con che velocità si riproduce un virus ?***

***Cosa intendiamo con la parola CRESCITA ESPONENZIALE ?***

## *Vi racconto una storia*

Il **Re della Persia** chiamò un famoso **mago, Sissa Nassir**, e gli disse: “Inventa per me un gioco bellissimo, che io lo possa giocare in ogni momento, e che sia imperituro”.

Sissa inventò gli scacchi e li donò al re che tanto fu contento che gli disse:

“Hai superato te stesso; chiedimi come ricompensa quel che vuoi e sarai accontentato”.

E Sissa chiese, semplicemente, un po' di riso. “Come un po' di riso”, ribatté il re incredulo e divertito. “Chiedi di più, quel che vuoi”. Ma Sissa insisté, finché il re disse:

“E sia, tutto il riso che vuoi ti sarà dato”.

Chiamò il **gran ciambellano**, che era anche l'abacista di corte.

Sissa chiese un granello di riso per la prima casella, due per la seconda, quattro per la terza, e così via sempre raddoppiando, fino a completare le caselle della scacchiera che lui stesso aveva inventato. Il re rise a crepapelle, pensando: “Che idiota, poteva avere metà del mio regno!”. Ma il gran ciambellano sbiancò in volto.

Si rivolse al re e disse: “Maestà, temo che non potremo accontentare Sissa Nassir”.

“Oh, e perché?” chiese il re allibito.

*Io ora lo chiedo a voi:*

**Quanti granelli di riso si ottengono, a partire da uno solo, se a ogni casella della scacchiera raddoppiamo il numero dei chicchi?**

*Guardiamo questo video*

<https://www.youtube.com/embed/KnQZ3Mg6upg>



*Proviamo noi:*

Tempo	Chicchi di riso				
1	2	21	2097152	41	2,199E+12
2	4	22	4194304	42	4,398E+12
3	8	23	8388608	43	8,796E+12
4	16	24	16777216	44	1,759E+13
5	32	25	33554432	45	3,518E+13
6	64	26	67108864	46	7,037E+13
7	128	27	134217728	47	1,407E+14
8	256	28	268435456	48	2,815E+14
9	512	29	536870912	49	5,629E+14
10	1024	30	1,074E+09	50	1,126E+15
11	2048	31	2,147E+09	51	2,252E+15
12	4096	32	4,295E+09	52	4,504E+15
13	8192	33	8,59E+09	53	9,007E+15
14	16384	34	1,718E+10	54	1,801E+16
15	32768	35	3,436E+10	55	3,603E+16
16	65536	36	6,872E+10	56	7,206E+16
17	131072	37	1,374E+11	57	1,441E+17
18	262144	38	2,749E+11	58	2,882E+17
19	524288	39	5,498E+11	59	5,765E+17
20	1048576	40	1,1E+12	60	1,153E+18
				61	2,306E+18
				62	4,612E+18
				63	9,223E+18
				64	1,845E+19

*Crescita esponenziale*



Se consideriamo che 10 chicchi pesano circa 10 grammi possiamo dire che il Re di Persia avrebbe dovuto consegnare a Sissa 1.800.000 milioni di tonnellate di riso, ovvero la produzione mondiale di riso di ben tremila anni!

E il ciambellano fece presente al re che anche raccogliendo tutto il riso di Persia e di Cina e di India e di ogni terra emersa, non solo il riso del raccolto attuale, ma il passato e il futuro nei tempi dei tempi, mai e poi mai si sarebbe ottenuto tanto riso, il cui valore superava di miliardi di volte quello del reame stesso.

E così finì che Sissa Nassir fu decapitato per alto tradimento reale e il ciambellano fu condannato a fare i conti di quanto riso era quello richiesto...

*Cosa hanno in comune*

*SCACCHI E COVID-19*

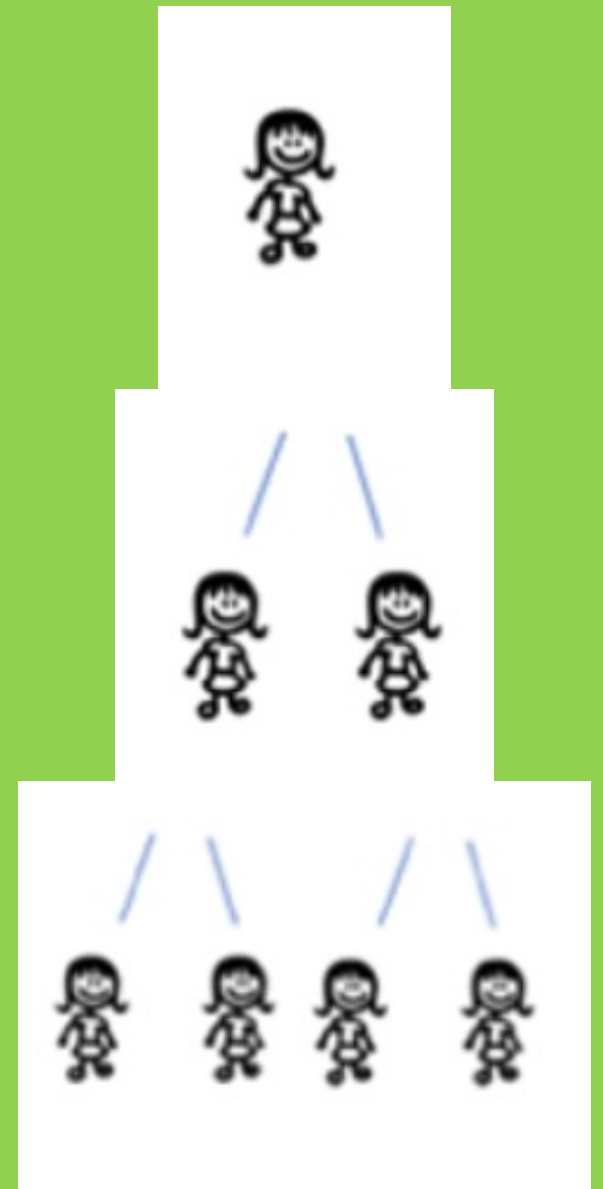
**La crescita dei contagi di un'epidemia funziona proprio come  
quella dei chicchi di riso sulla scacchiera,**

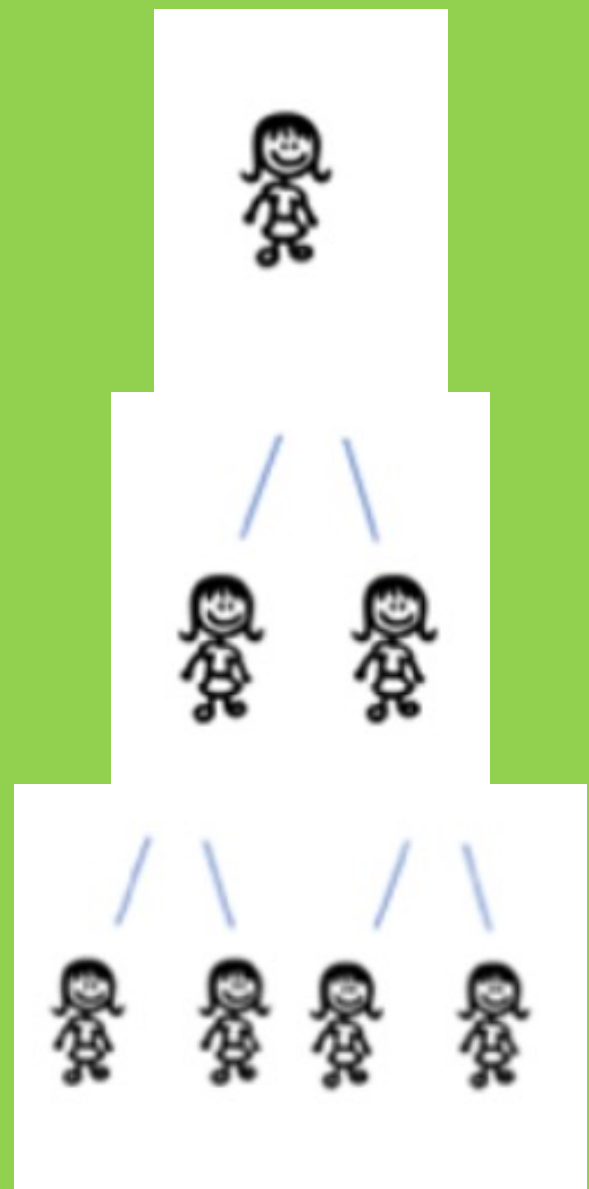
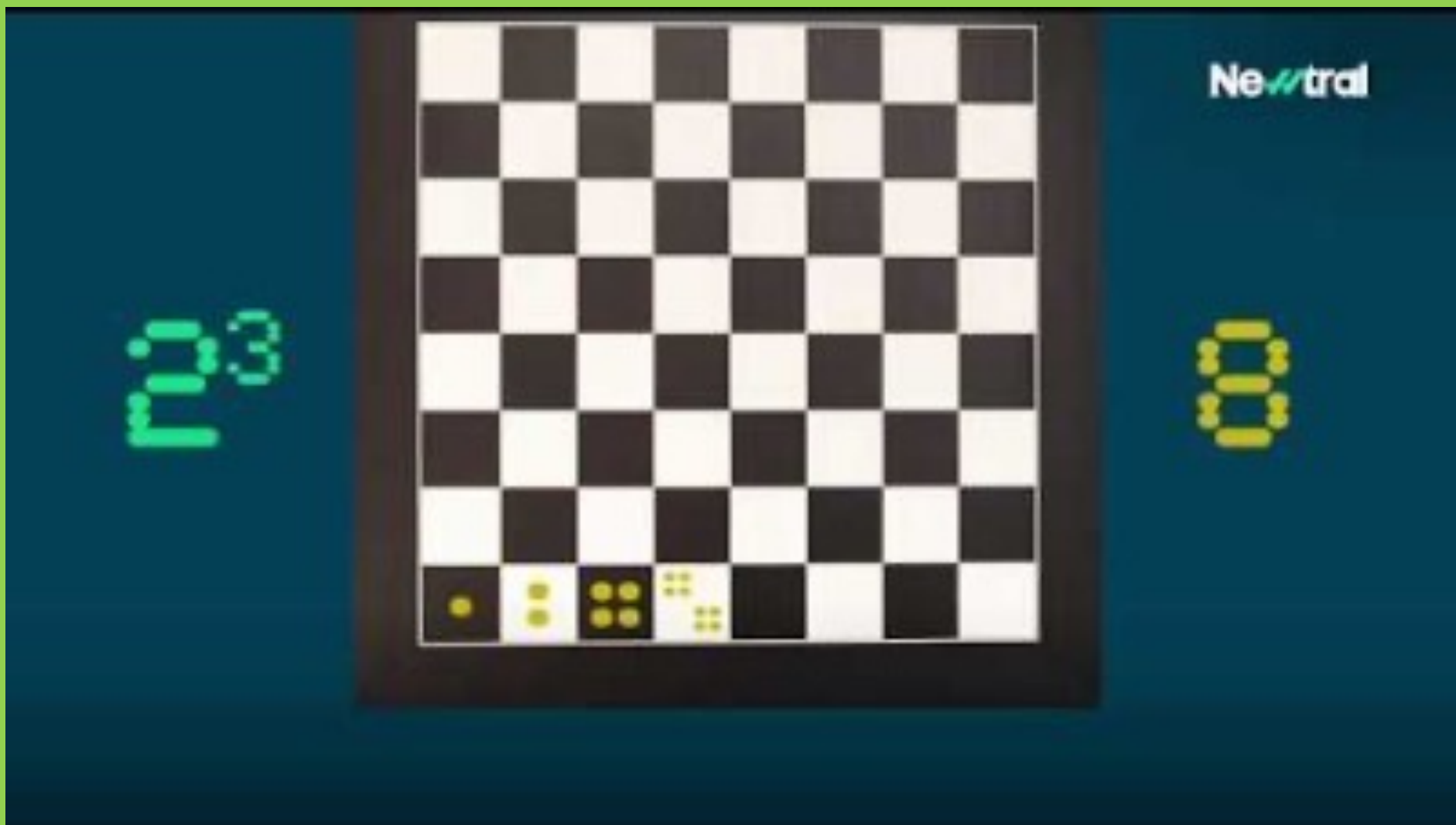
Immaginiamo di avere a che fare con una malattia caratterizzata dal fatto che ogni individuo infetto contagia, in media, altri due individui.

Al primo passo, abbiamo un solo infetto, che infetterà due suoi contatti; a loro volta, questi infetteranno due contatti ciascuno, e così via: la malattia, si propagherà raddoppiando a ogni passo il numero di nuovi contagiati...

ovvero

**il numero di nuovi contagi cresce esattamente come i grani di riso sulla scacchiera di Sissa!**





Attraverso esami in laboratorio, indagini statistiche si cerca di capire il **numero di casi infettati in media da un individuo** al giorno, durante tutto il proprio periodo infettivo.

Questo numero viene chiamato:

**$R_0$**  = Numero riproduzione di base

**A inizio Pandemia CoVid19, si è stimato un  $R_0$  tra 2 e 2,5**

**Ma a in piena pandemia 2019 i valori di  $R_0$  oscillano tra 0,4 e 5;7**

dovuto mancanza di immunità, ma una volta che ha apparso nel 2009 (H1N1), la R<sub>0</sub> era inferiore a 1,6 dovuto la combinazione di vaccini e di droghe disponibili.

## Scoppi comuni dell'esperienza

Alcuni scoppi contagiosi dei numeri stimati passati e loro mediani r<sub>0</sub> sono:

- Morbillo - 12-18
- Varicella - 10-12
- Polio - 10-12
- HIV/AIDS - 2-5
- SAR - 0.19-1.08
- MERS - 0.3-0.8
- Raffreddore - 2-3
- Ebola - 1.56-1.9
- Influenza stagionale - 0.9-2.1
- 1918 pandemia di influenza - 1.4-2.8
- 2009 pandemia di influenza - 1.4-1.6
- COVID19 - 0.4-5.7\* (i preventivi \*current variano; vedi sotto per la più discussione)

Il morbillo, la parotite epidemica e la varicella sono il più contagioso di tutte le malattie ben note. Riconoscute, con lo sviluppo dei vaccini e dei farmaci, queste malattie non sono più una minaccia globale, oltre alle istanze dove la vaccinazione è rifiutata.

MERS =  
= Middle East Respiratory  
Syndrome.

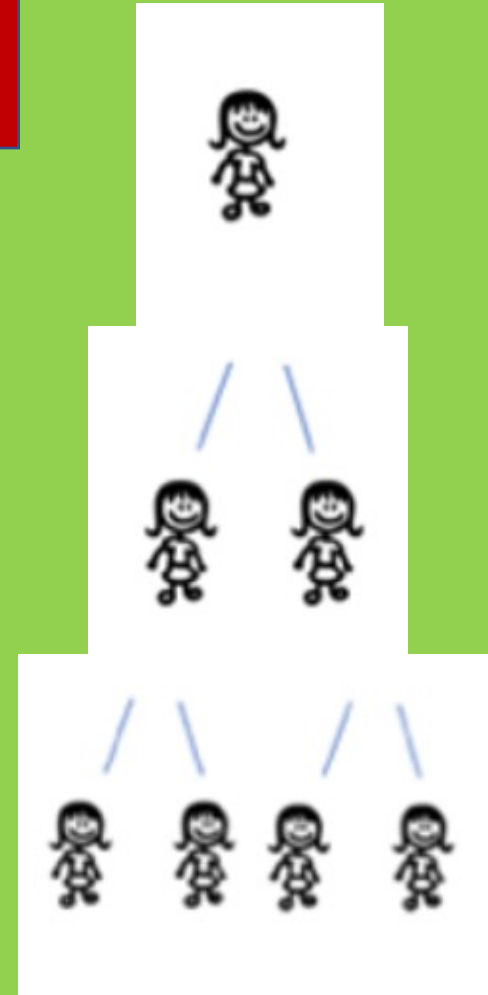
= Sindrome respiratoria  
mediorientale

Capacità di riprodursi

1 infetto zero  $\rightarrow R_0 = 2$

1 infetto  $\rightarrow$  ne contagia 2

$\rightarrow$  ciascuno dei quali ne contagia altri 2  $\rightarrow$



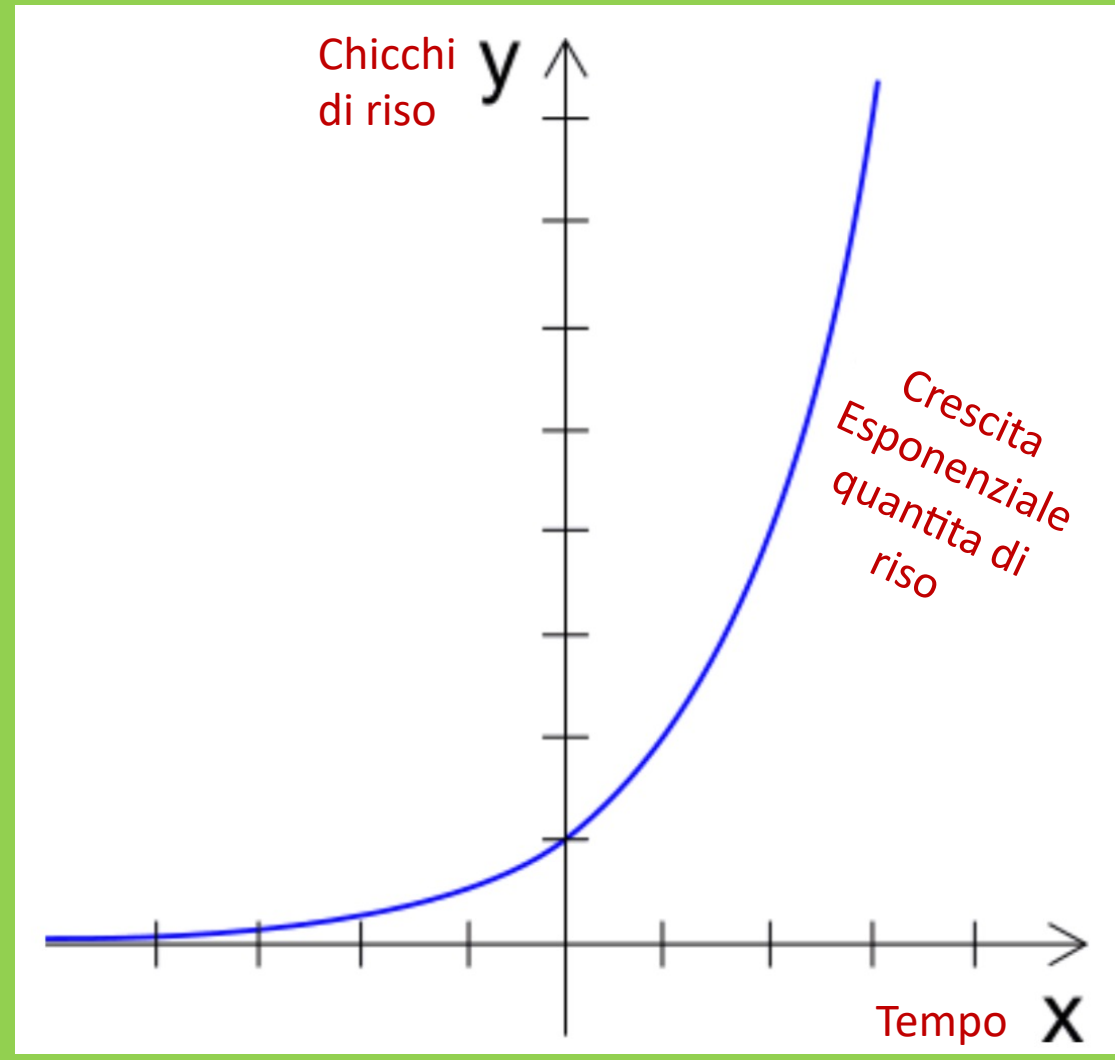
**$R_0$**  = Numero riproduzione di base

il numero di individui che vengono contagiati, in media, da ogni individuo infetto

# M Confronto crescita Virus - chicchi di riso

Tempo	Chicchi di riso
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256
9	512
10	1024
11	2048
12	4096
13	8192
14	16384
15	32768
16	65536
17	131072
18	262144
19	524288
20	1048576

21	2097152
22	4194304
23	8388608
24	16777216
25	33554432
26	67108864
27	134217728
28	268435456
29	536870912
30	1,074E+09
31	2,147E+09
32	4,295E+09
33	8,59E+09
34	1,718E+10
35	3,436E+10
36	6,872E+10
37	1,374E+11
38	2,749E+11
39	5,498E+11
40	1,1E+12
41	2,199E+12
42	4,398E+12
43	8,796E+12
44	1,759E+13
45	3,518E+13
46	7,037E+13
47	1,407E+14
48	2,815E+14
49	5,629E+14
50	1,126E+15
51	2,252E+15
52	4,504E+15
53	9,007E+15
54	1,801E+16
55	3,603E+16
56	7,206E+16
57	1,441E+17
58	2,882E+17
59	5,765E+17
60	1,153E+18
61	2,306E+18
62	4,612E+18
63	9,223E+18
64	1,845E+19



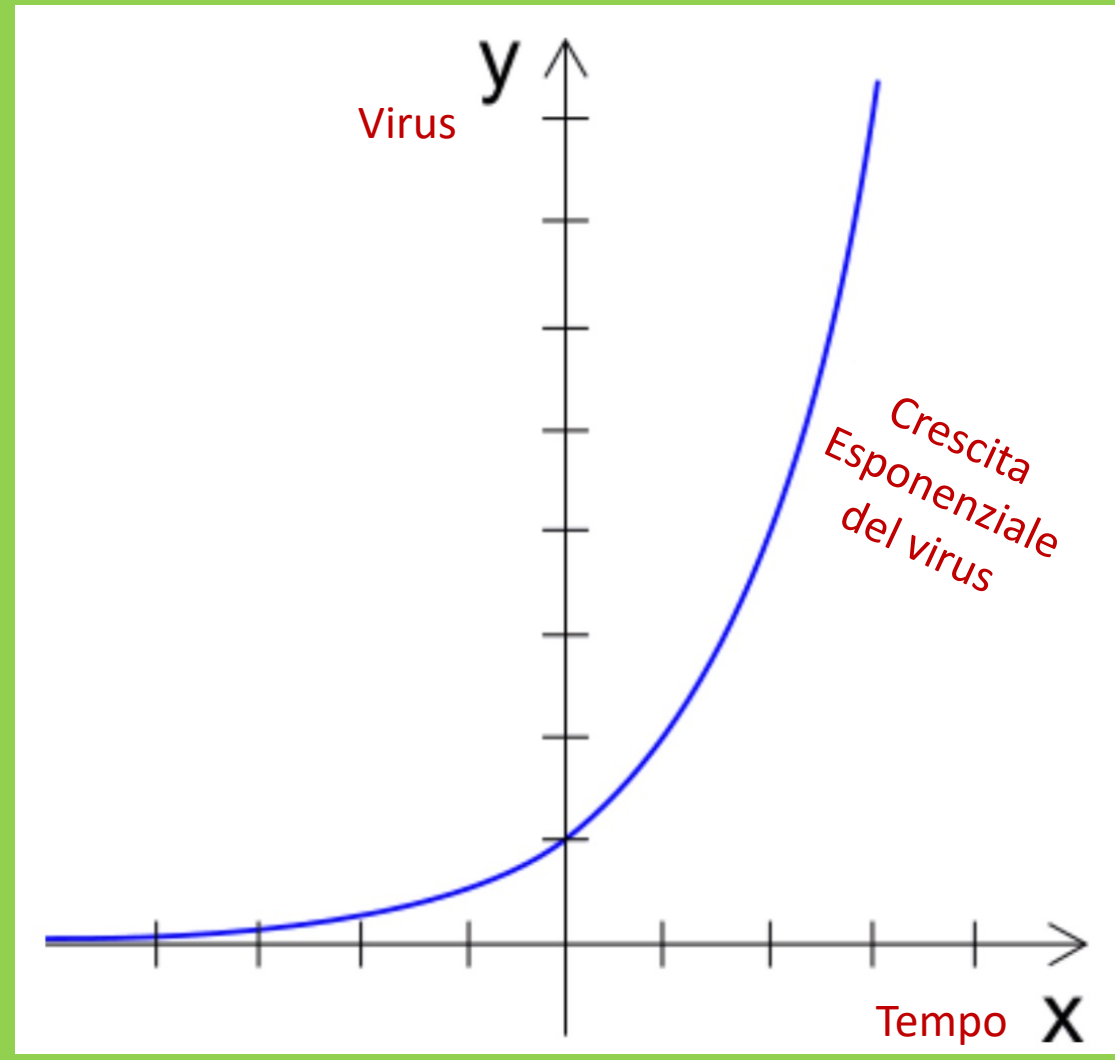


# M Confronto crescita Virus - chicchi di riso

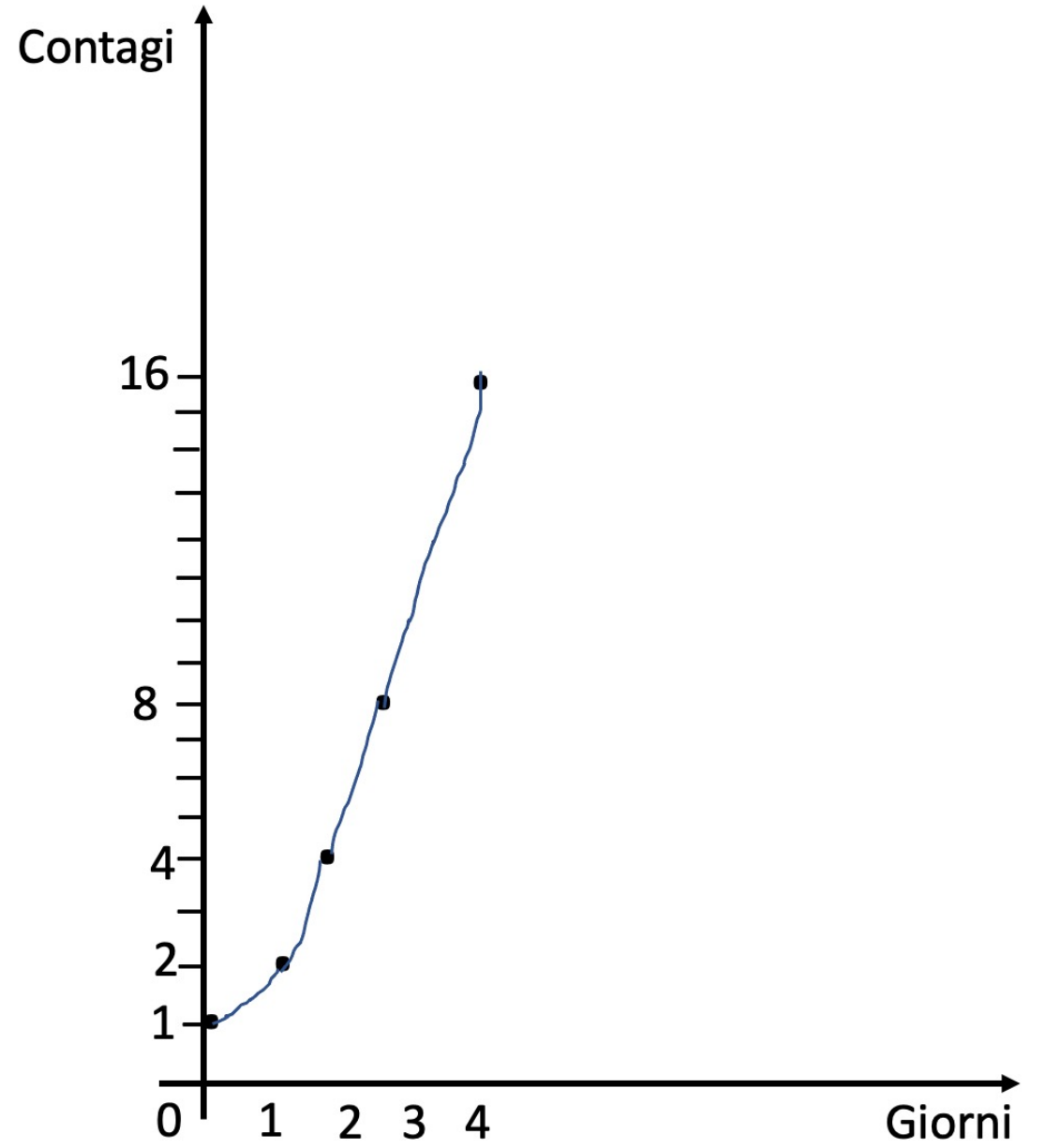
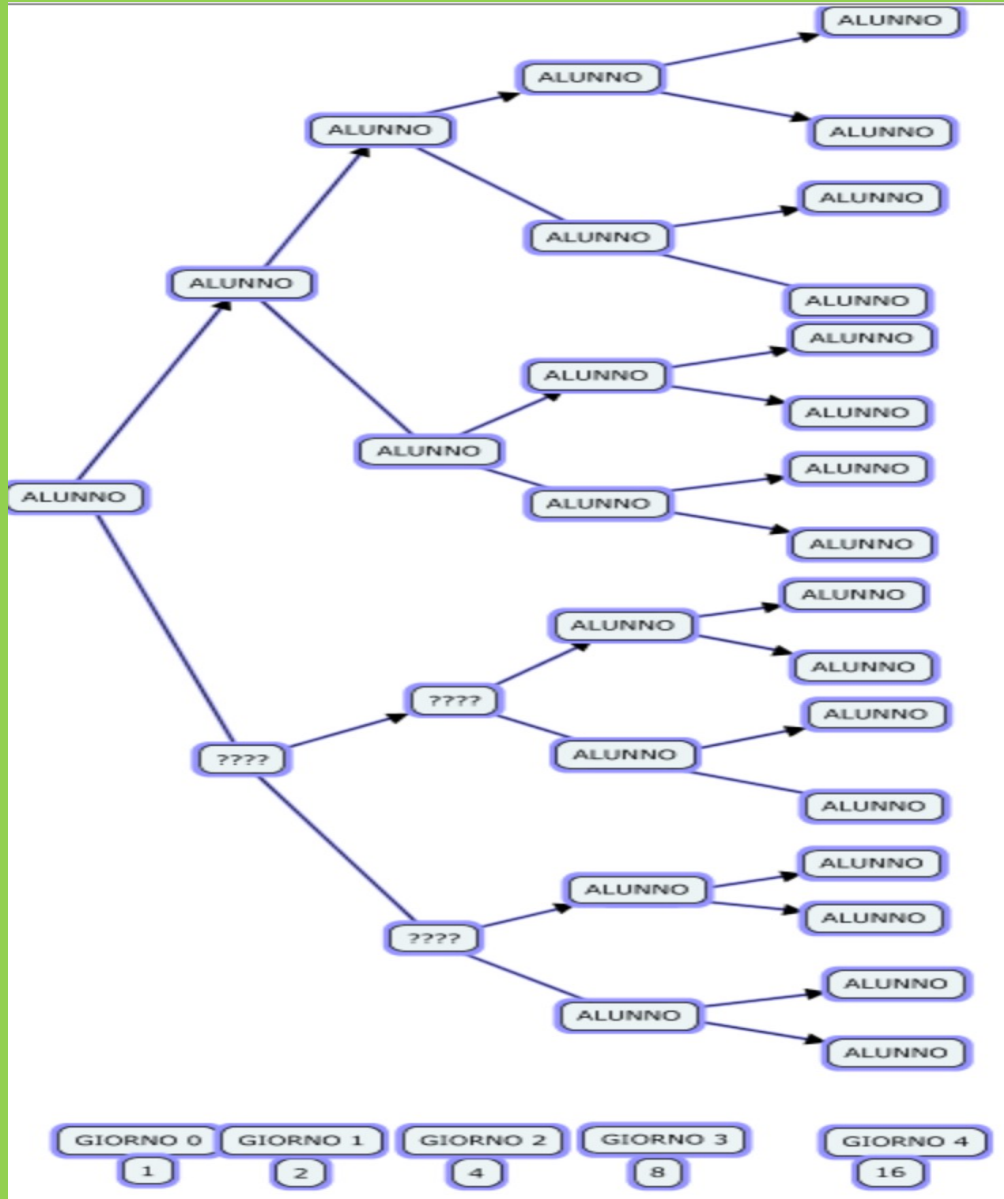
Tempo Virus

1	2	21	2097152
2	4	22	4194304
3	8	23	8388608
4	16	24	16777216
5	32	25	33554432
6	64	26	67108864
7	128	27	134217728
8	256	28	268435456
9	512	29	536870912
10	1024	30	1,074E+09
11	2048	31	2,147E+09
12	4096	32	4,295E+09
13	8192	33	8,59E+09
14	16384	34	1,718E+10
15	32768	35	3,436E+10
16	65536	36	6,872E+10
17	131072	37	1,374E+11
18	262144	38	2,749E+11
19	524288	39	5,498E+11
20	1048576	40	1,1E+12

41	2,199E+12
42	4,398E+12
43	8,796E+12
44	1,759E+13
45	3,518E+13
46	7,037E+13
47	1,407E+14
48	2,815E+14
49	5,629E+14
50	1,126E+15
51	2,252E+15
52	4,504E+15
53	9,007E+15
54	1,801E+16
55	3,603E+16
56	7,206E+16
57	1,441E+17
58	2,882E+17
59	5,765E+17
60	1,153E+18
61	2,306E+18
62	4,612E+18
63	9,223E+18
64	1,845E+19



# Diffusione Virus tra la popolazione



# In una malattia con rapporto riproduttivo $R_0 = 2$

Giorno 0	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno n
x=0 y=1 Paziente	x=1 y=2 Paziente	x=2 y=4 Paziente	x=3 y=8 Paziente	x=n $y = 2^n$

il numero di nuovi positivi cresce come  $(R_0)^x$

guardare la curva azzurra in Figura

$$y = (R_0)^x$$

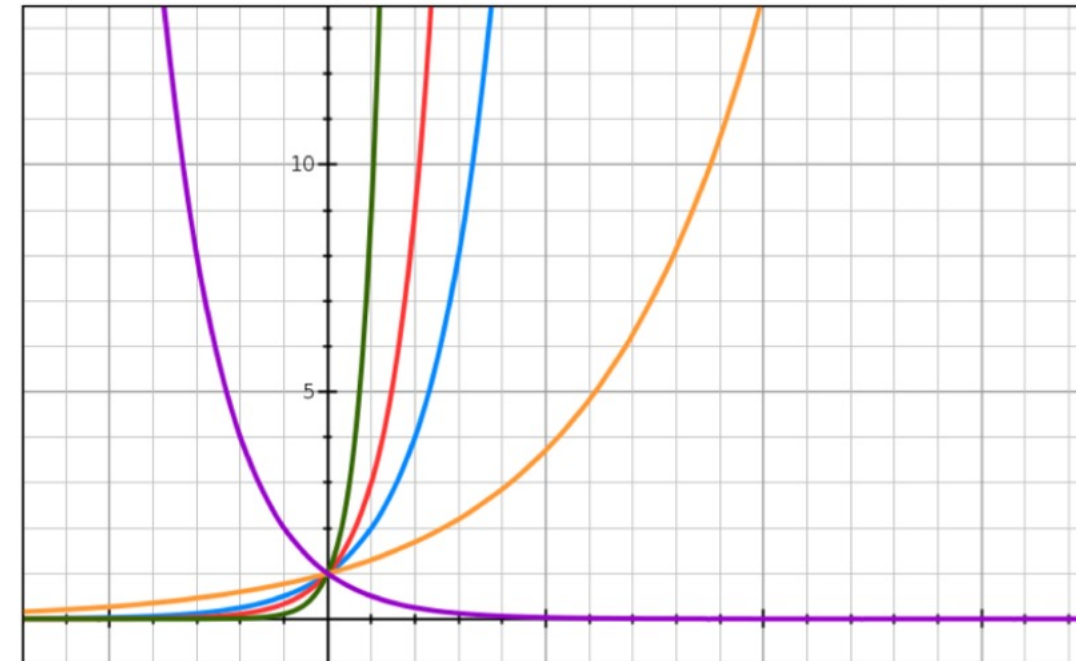
$$R_0 = 2$$

$$R_0 = 3$$

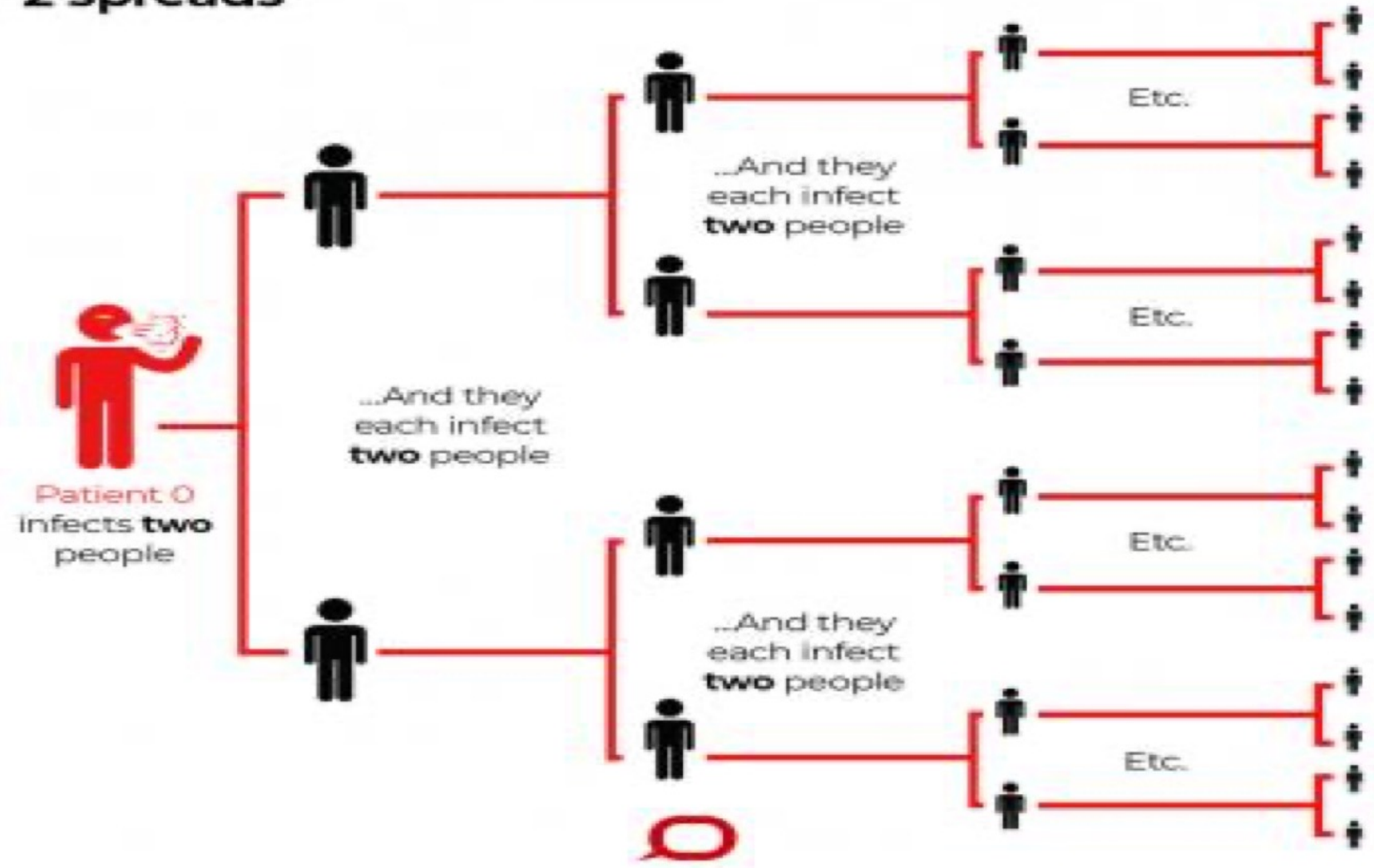
$$R_0 = 9$$

$$R_0 = 1.3$$

$$R_0 = 0.5$$



# How a virus with a reproduction number (R0) of 2 spreads



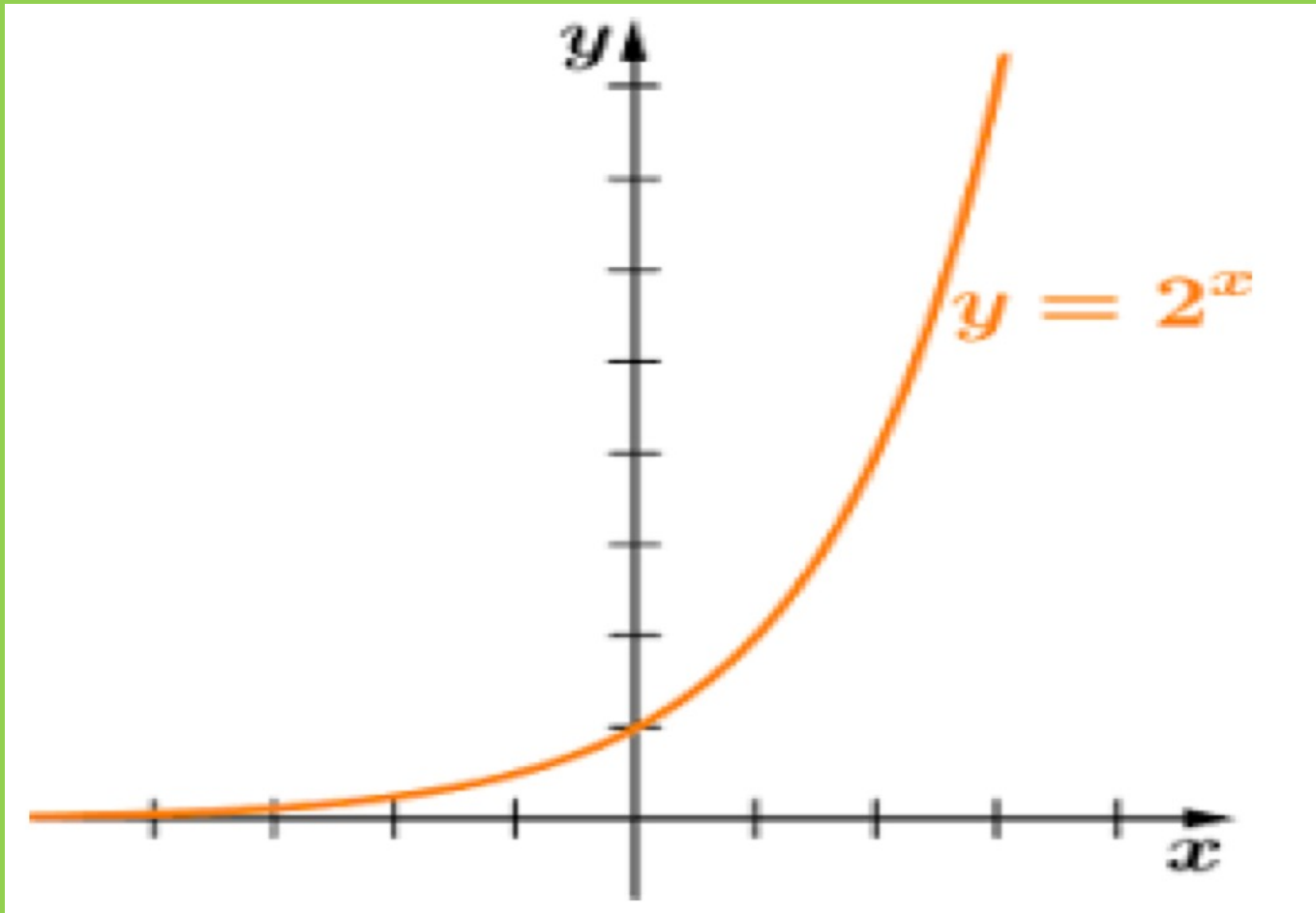
Giorno 0	Giorno 1	Giorno 2	Giorno 3	Giorno n
x=0 y=1 Paziente	x=1 y=2 Paziente	x=2 y=4 Paziente	x=3 y=8 Paziente	x=n y = 2 <sup>n</sup>

## Contagion film

$R_0$  = Numero riproduzione di base

$R_0 > 1$

L'epidemia è nella fase iniziale,

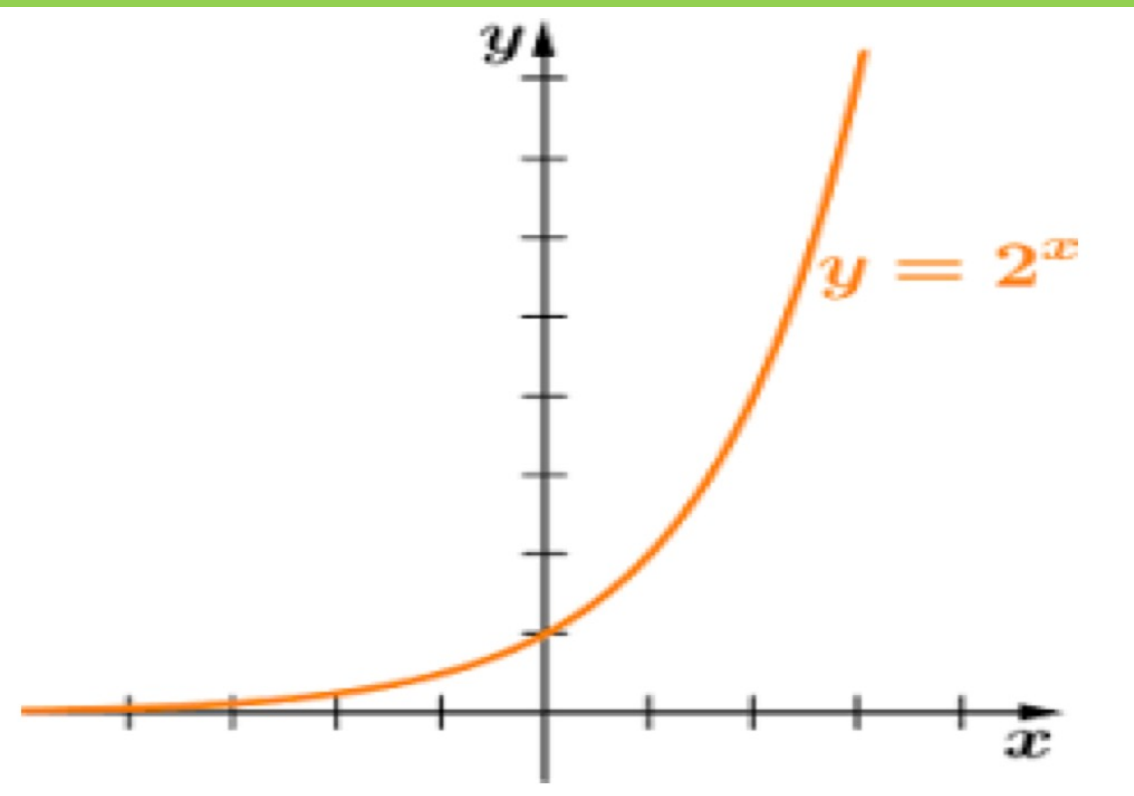


vedremo in questo periodo  
una crescita esponenziale  
dei casi ( crescita sempre  
più alta)

La curva ha lo scopo di fare vedere come cresce l'epidemia nel paese.....

Tutto ciò è poco reale

Matematicamente la curva cresce sempre di più fino all'infinito.

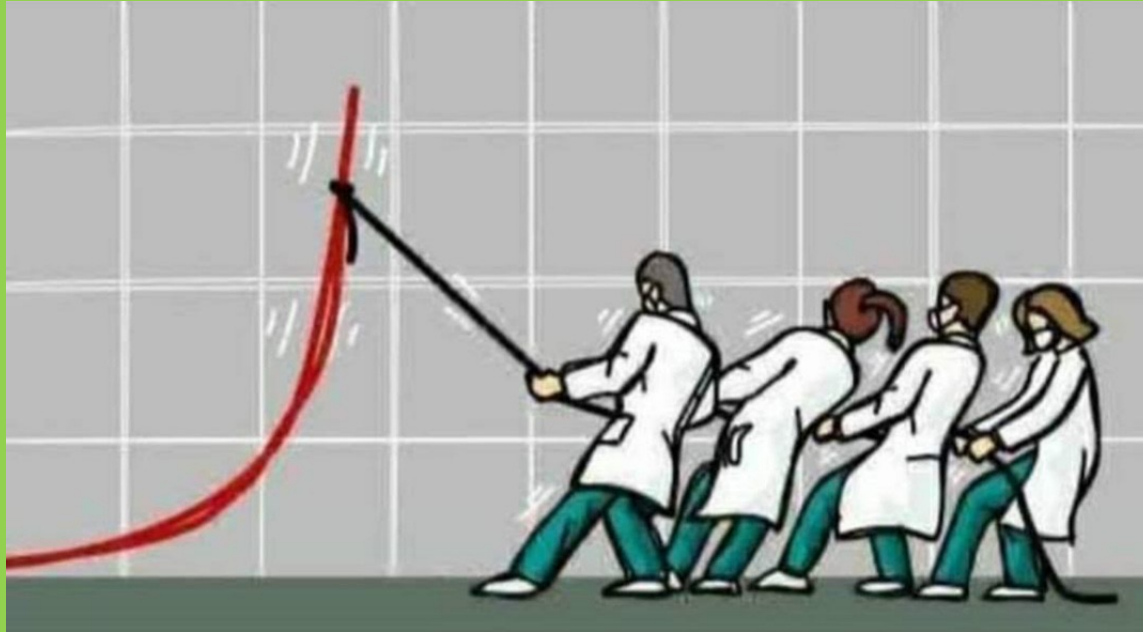


nella realtà, questa curva  
prima o poi bisogna fermarla..

Come? →

Iniziamo con le  
**Misure di  
contenimento**

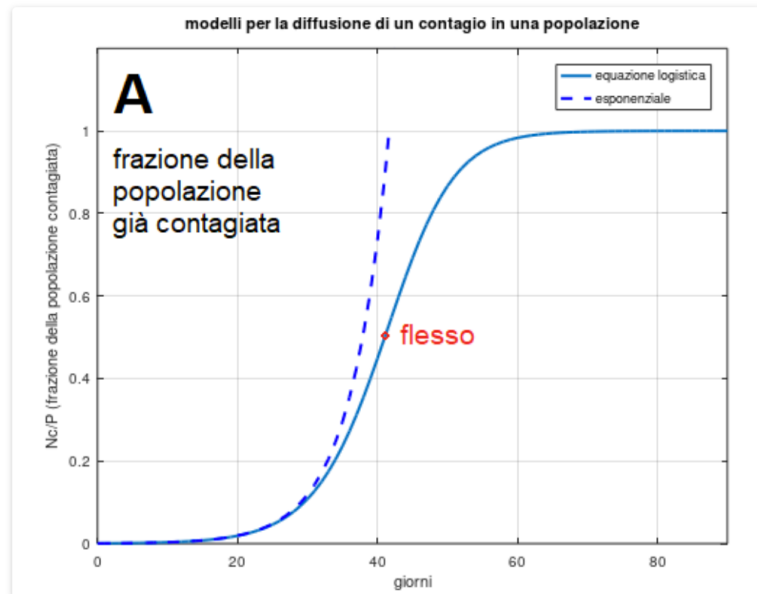
# Importanza delle misure di contenimento



Lo stiramento in orizzontale della curva:

Se il virus dovesse arrivare a colpire tutta la popolazione, secondo questa curva noi saremmo tutti morti, quindi,

è importante modificare questa curva.



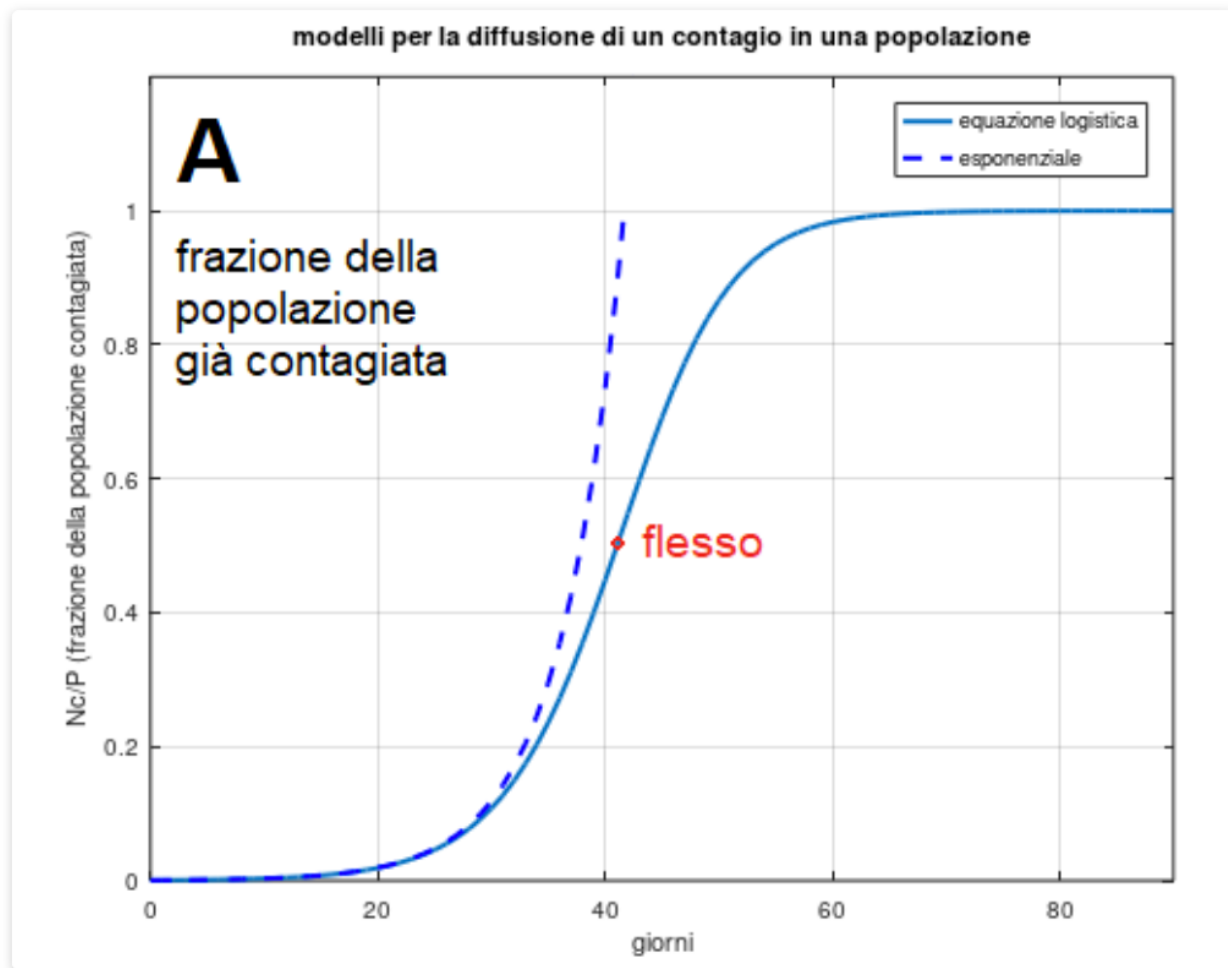
Il modello esponenziale lo troviamo solo nelle prime fasi dell'epidemia.

Successivamente il ritmo di diffusione del contagio si riduce!

Per due motivi :



# Dal Modello Esponenziale al Modello Logistico per modificare la curva



1) tra le persone con cui ogni contagiato viene a contatto, alcune sono già infette e non possono quindi costituire nuovi contagi.  
**(immunità di gregge).**

2) Il processo di rallentamento della crescita può essere aiutato con **misure di contenimento** che diminuiscono le occasioni di contagio

**“immunità di gregge”**: livello da raggiungere proteggere, indirettamente anche coloro che, per motivi di salute, non possono essere vaccinati.

# Immunità di gregge,

detta anche: **immunità di gruppo**, **immunità di branco**, **immunità collettiva**<sup>[</sup>

Può essere definita come :

la capacità di un gruppo di resistere all'attacco di un'infezione, verso la quale una grande porzione dei membri del gruppo è immune.

“HIT”

È la soglia raccomandata dall'OMS:

- per garantire la cosiddetta “immunità di gregge”,
- per proteggere, indirettamente anche coloro che, per motivi di salute, non possono essere vaccinati.

**HIT:** Soglia minima dell'immunità di gregge

**R<sub>0</sub>:** Numero di riproduzione di base

Stime di $R_0$ e HIT di alcune malattie influenzali <sup>[33]</sup>			
Malattia	Trasmissione	$R_0$	HIT
Morbillo	Aerotrasmesso	12-18	92-95%
Pertosse	Aerotrasmesso	12-17	92-94%
Difterite	Saliva	6-7	83-86%
Rosolia	Aerotrasmesso		
Vaiolo		5-7	80-86%
Polio	Via fecale-orale		
Parotite	Aerotrasmesso	4-7	75-86%
SARS 2004		2-5	50-80%
Ebola	Fluidi corporei	1,5-2,5	33-60%
Influenze stagionali	Aerotrasmesso	1,5-1,8	33-44%

Legenda:  
 Aerotrasmesso: trasmesso dalle goccioline respiratorie o di Flügge  
 HIT: Soglia minima dell'immunità di gregge  
 $R_0$ : Numero di riproduzione di base

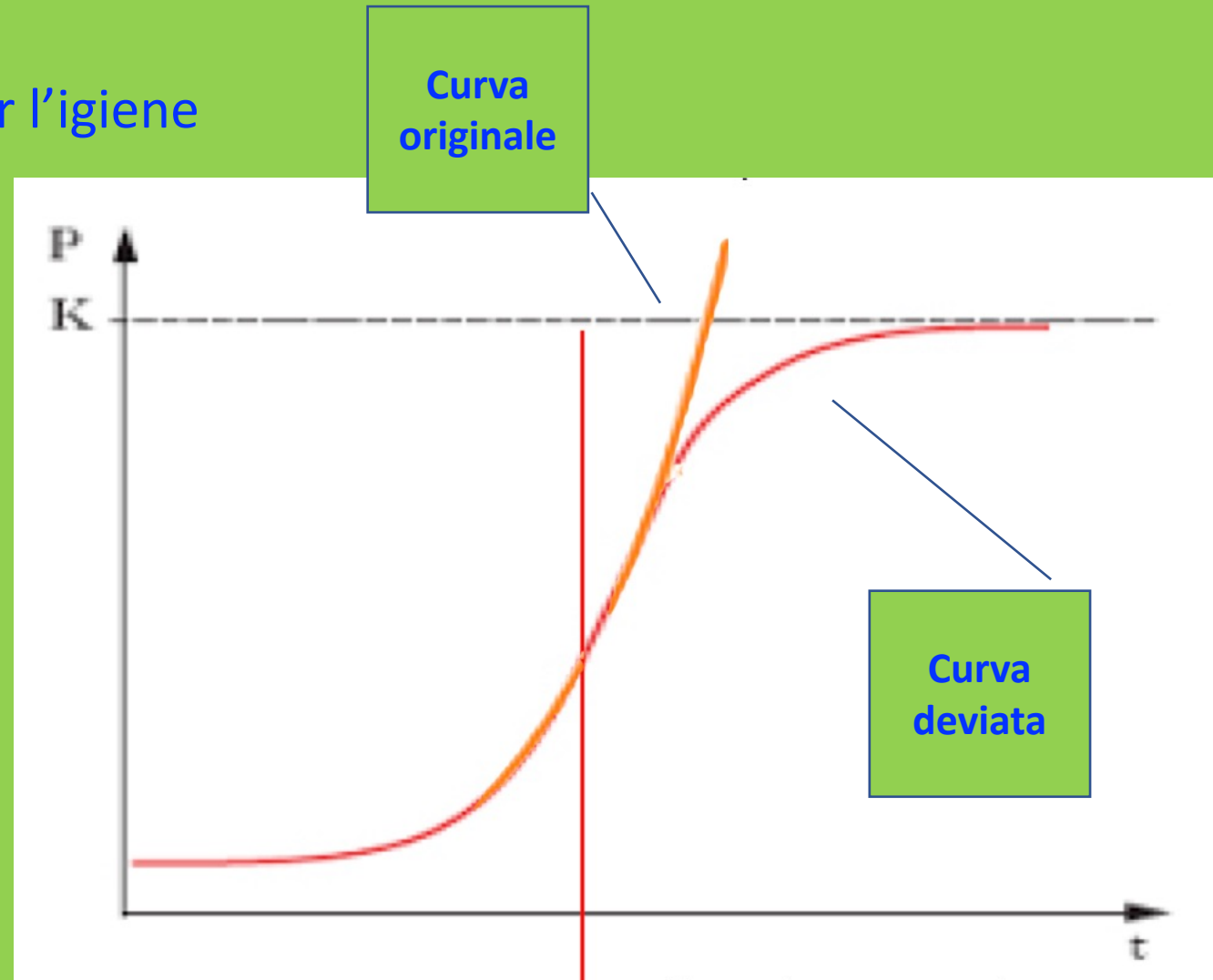
# Dal Modello Esponenziale al Modello Logistico per modificare la curva

Grazie a:

- Lockdown
- Campagne di sensibilizzazione per l'igiene
- Distanziamento sociale
- Uso di mascherine
- Immunità di gregge

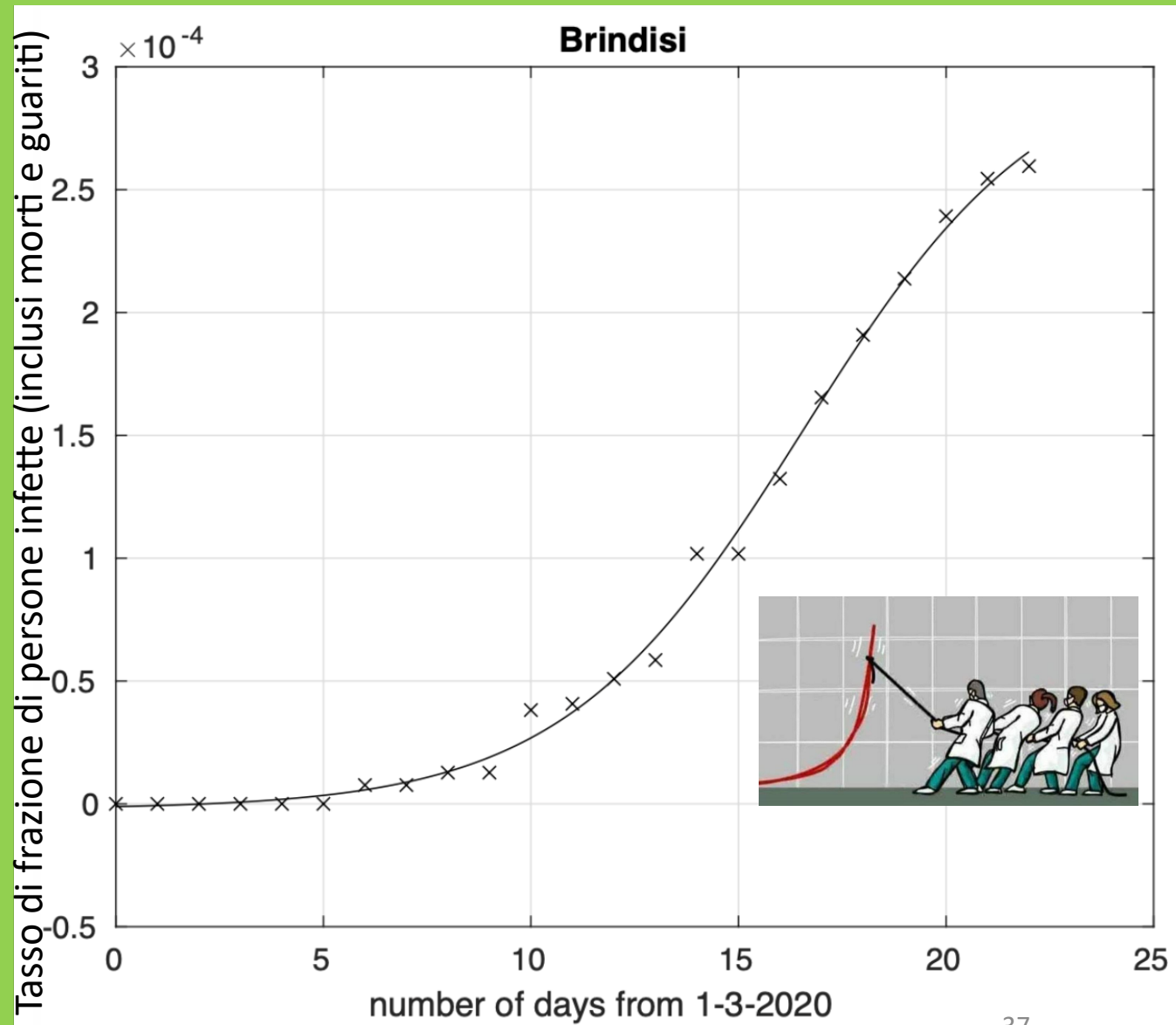
la popolazione ha **costretto il virus a cambiare percorso**

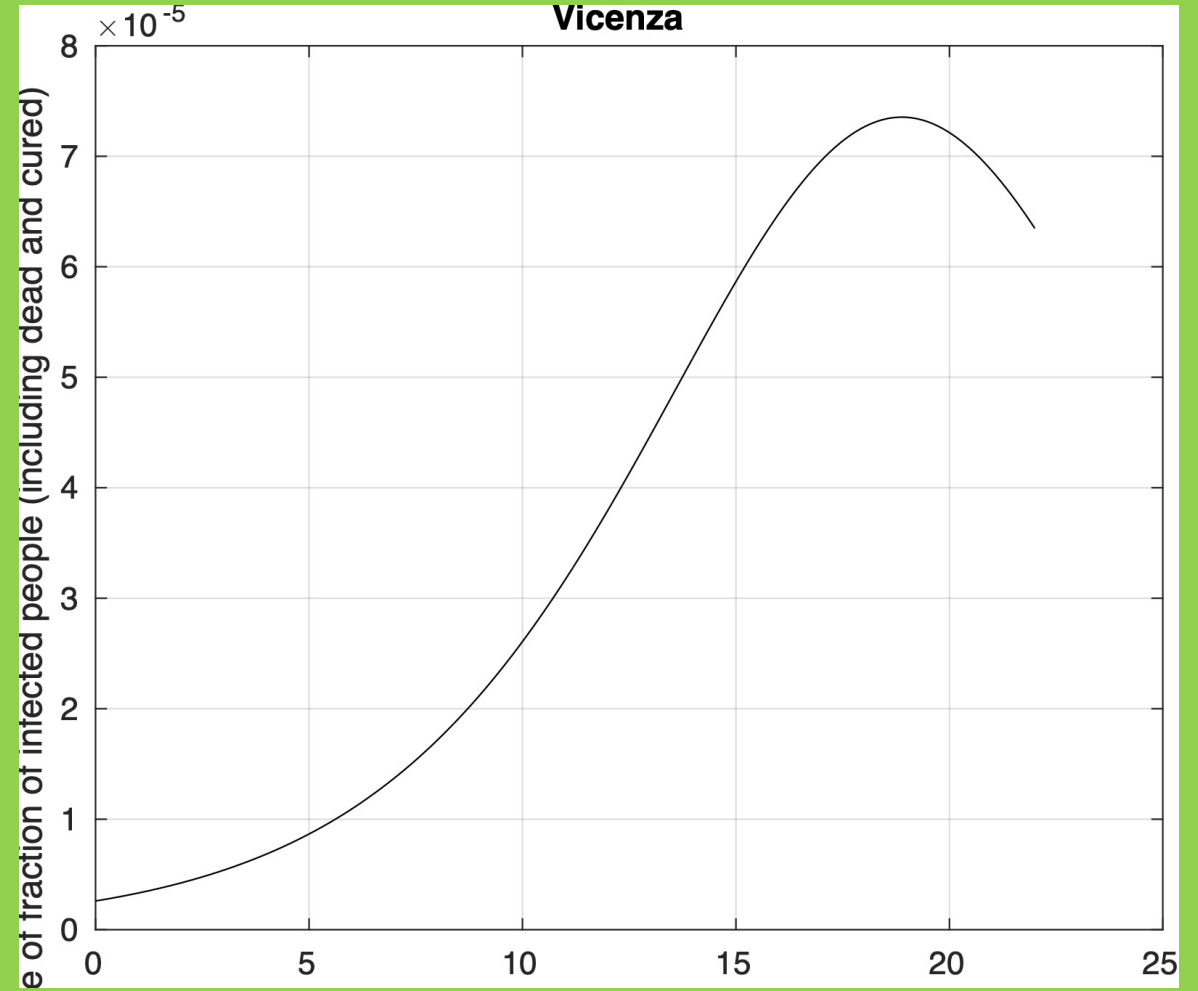
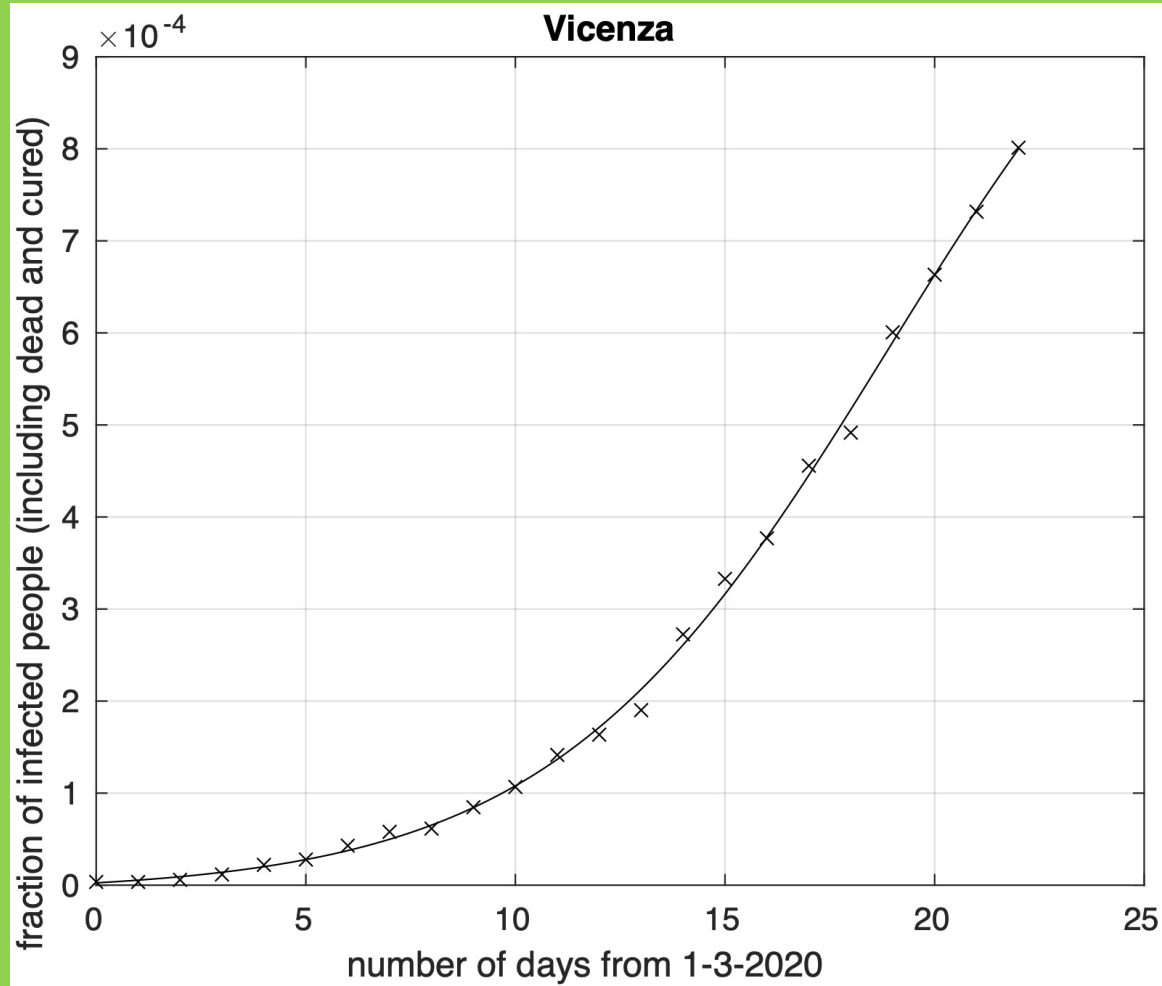
Il contenimento dell'epidemia tende a modificare la curva, inizialmente strettamente esponenziale

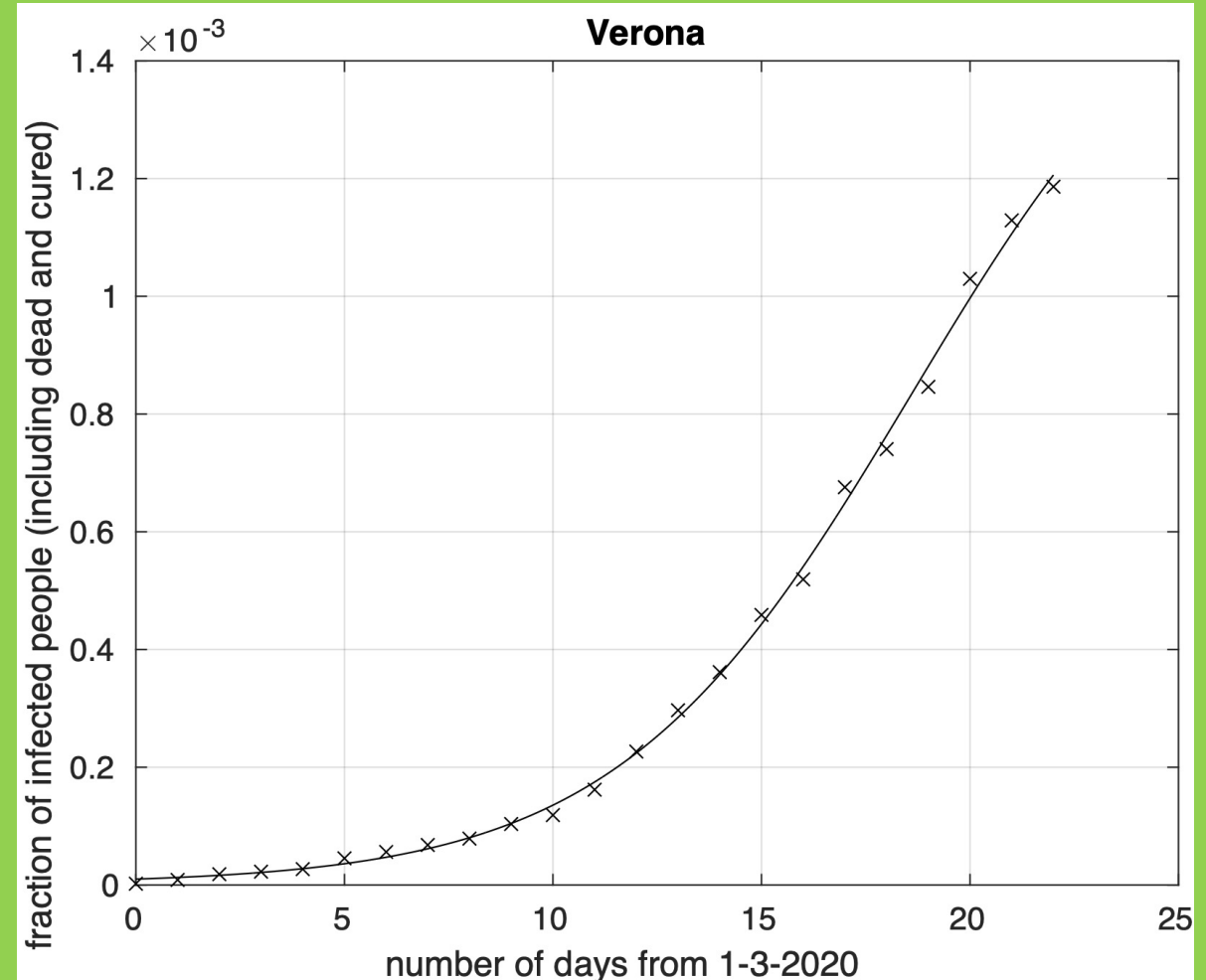
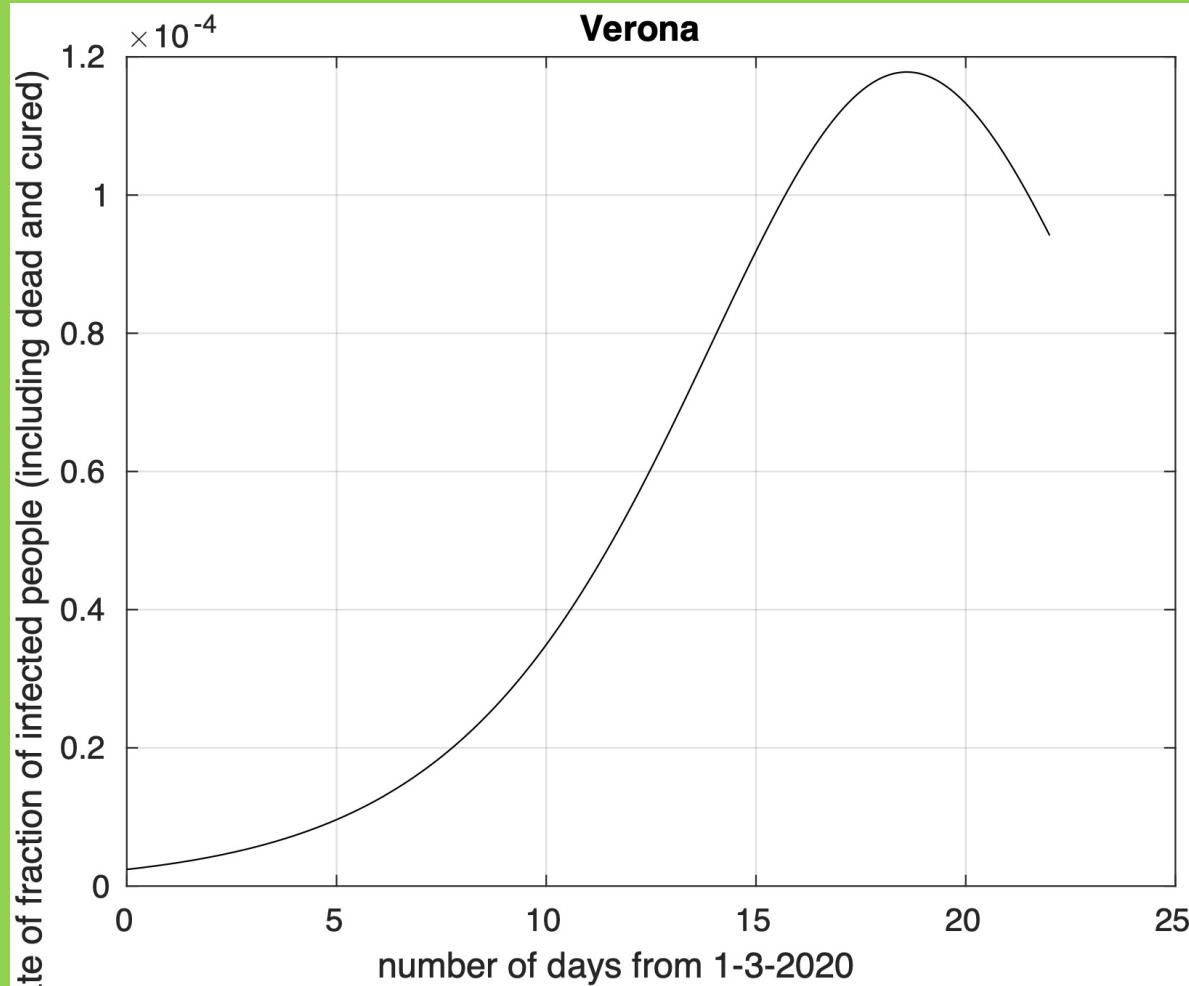


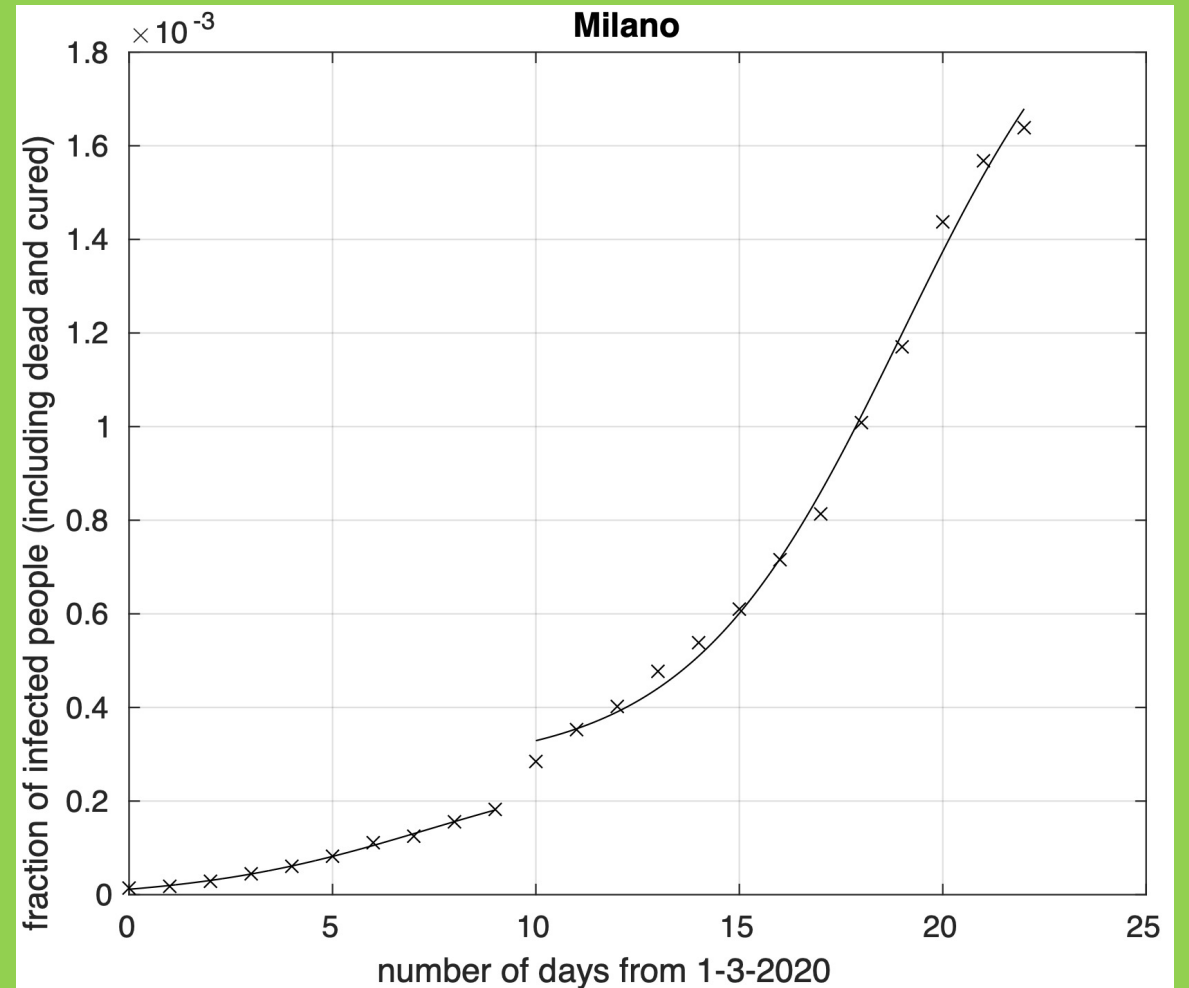
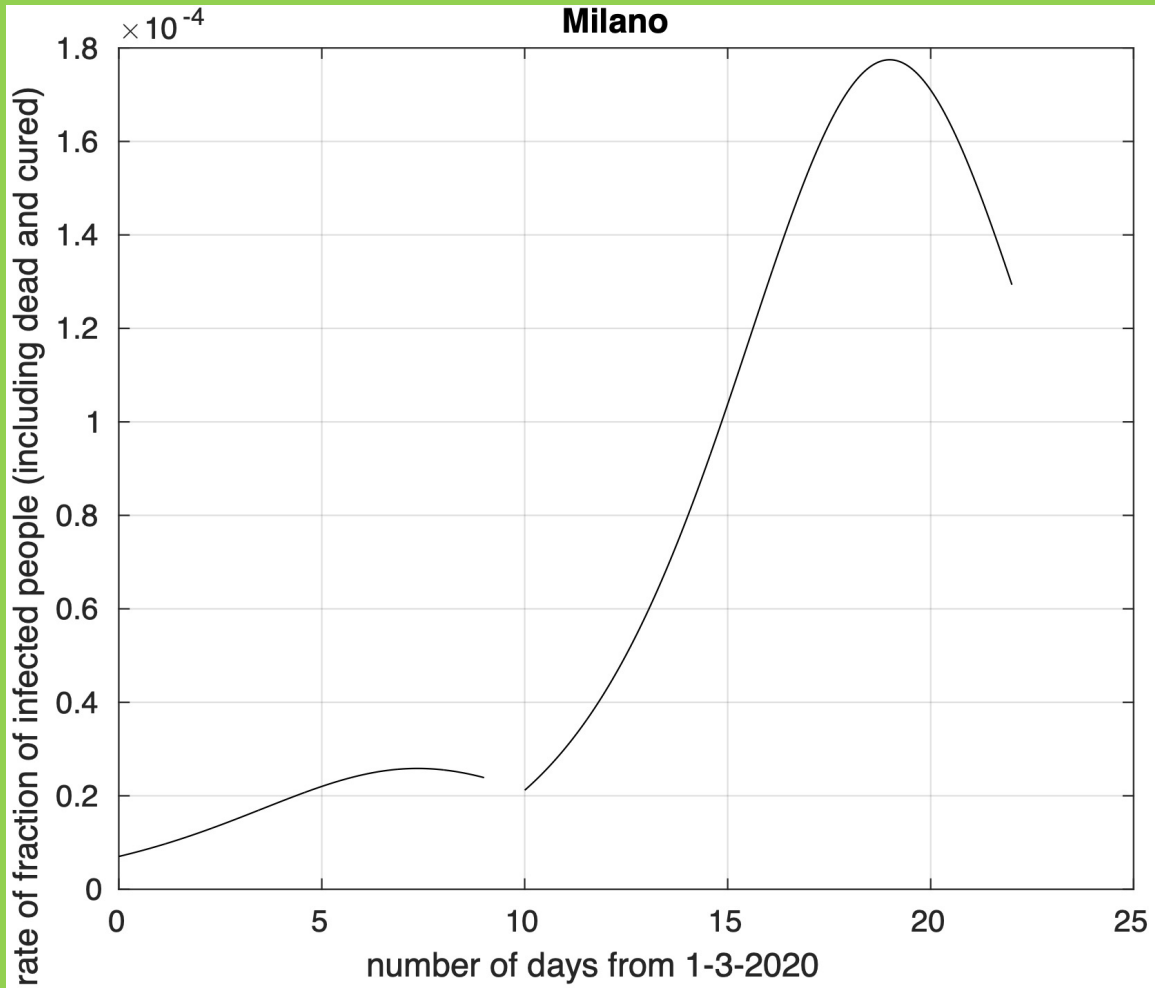
L'analisi della **frazione dei contagiati** osservati rispetto alla popolazione di 57 su 107 provincie, rileva una **diminuzione** del tasso di crescita, come si osserva ad esempio per Brindisi.

La riduzione del tasso di crescita è probabilmente influenzata da un unico fattore: le misure di restrizione della mobilità introdotte a livello nazionale l'11 marzo col decreto **“lo resto a casa”**.





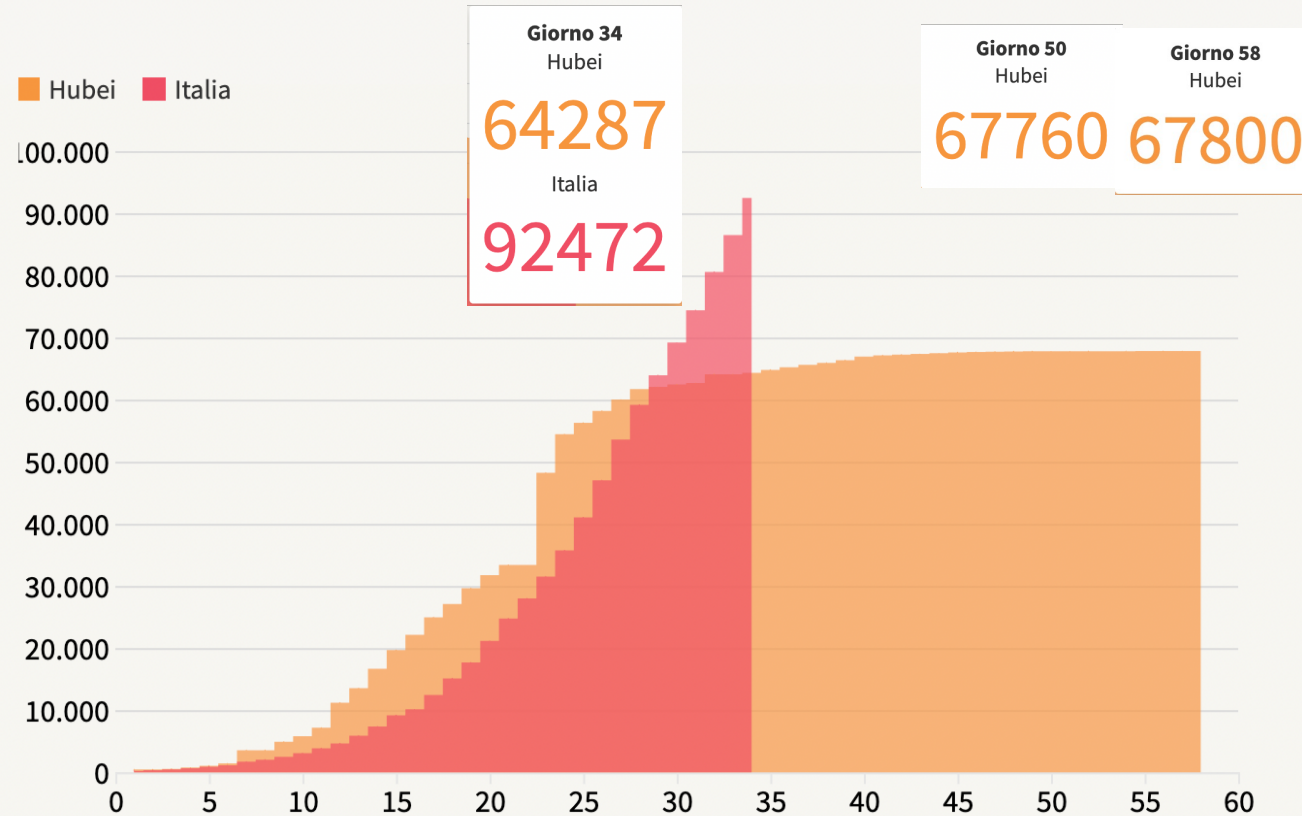






## La curva epidemica nell'Hubei e in Italia

Numeri di casi a confronto dal giorno in cui sono stati raggiunti i 200 casi



### Misure di contenimento in Cina

massimo stagionale raggiunto dell'ondata  
in un ciclo di 50 gg

frazione di popolazione contagiata pari a  
 $67.800/60.000.000$

cioè 0,11% della popolazione della  
regione dell'Hubei

### Misure di contenimento in Italia

Al 34 esimo giorno in Italia abbiamo 92.472  
contagiati su 60.400.000 abitanti  
siamo già allo 0,15 % della popolazione  
italiana!

Perché questa differenza?

Punto di vista costituzionale

## Limiti del **modello logistico**

Il **modello logistico** inquadra bene il rallentamento e un certo assestamento dei contagi

Ma, ha un problema:

non ammette la possibilità che ci possa essere una regressione della malattia o nuove crescite esponenziali,

Quindi,

si decide di utilizzare **altri modelli matematici**, grazie ai quali potrebbe essere più facile prevedere **l'andamento futuro** della malattia

## **Modello SIR**

# Modello SIR

Uno dei più semplici modelli matematici utilizzati in epidemiologia rappresentanti l'immunità di gregge è il "**modello SIR**"

Immaginiamo di avere una comunità composta da un numero  $N$  persone. Suddividiamola in tre gruppi:

<p><b>SIR</b> dal nome delle 3 classi in cui viene divisa la popolazione interessata dal fenomeno di diffusione:</p>	<p><b>S (susceptible)</b></p>	<p>persone che possono ancora essere infettate. (tutta la popolazione).</p>
	<p><b>I (infectious)</b></p>	<p>Persone infette, che hanno contratto la malattia e sono contagiose</p>
	<p><b>R (recovered)</b></p>	<p>persone recuperate che sono <u>guarite</u>, oppure che sono <u>morte</u> e sono quindi rimosse dal numero dei contagiosi.</p>

**$S + I + R = N$**      $N =$  totalità della popolazione

# Modello SIR

Uno dei più semplici modelli matematici utilizzati in epidemiologia rappresentanti l'immunità di gregge è il "**modello SIR**"

Immaginiamo di avere una comunità composta da un numero 1000 persone.  
Suddividiamola in tre gruppi:

**SIR** dal nome delle 3 classi in cui viene divisa la popolazione interessata dal fenomeno di diffusione:

**S (susceptible)**

persone che possono ancora essere infettate. (tutta la popolazione).

**I (infectious)**

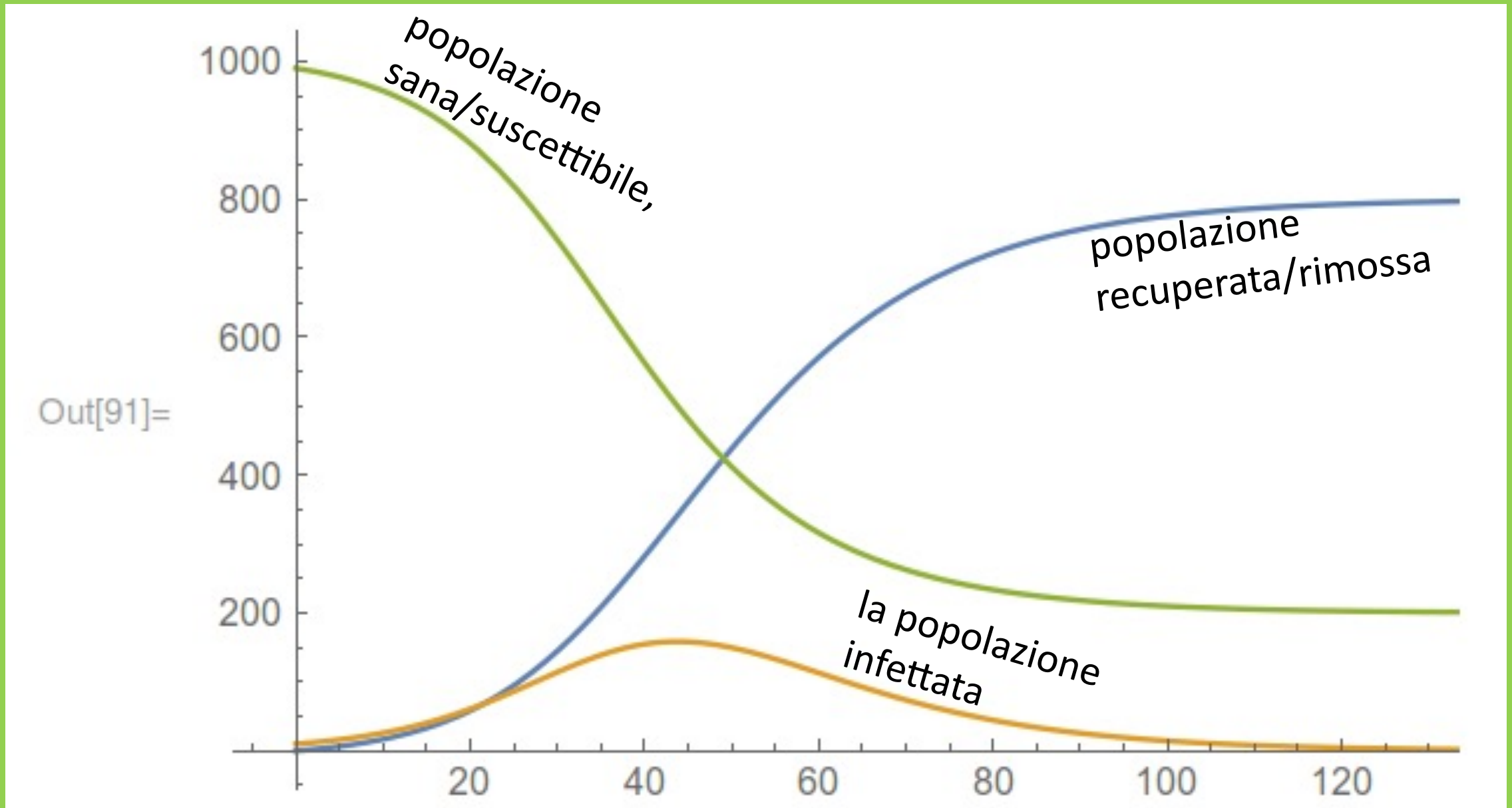
Persone infette, che hanno contratto la malattia e sono contagiose

**R (recovered)**

persone recuperate che sono guarite, oppure che sono morte e sono quindi rimosse dal numero dei contagiosi.

$$S + I + R = 1000$$

# Modello SIR



# Modello SIR

Consideriamo un'aula di 25 persone tra alunni e insegnanti

Studiamo il fenomeno su queste 25 persone

I grafici delle tre classi **S**, **I**, **R** variano rispetto al tempo (misurato in giorni)

INIZIO

$t=0$ , il primo giorno di osservazione tutta la popolazione è sana e quindi = 25 persone Sane/ suscettibili, tutti in S

man mano che passano i giorni:

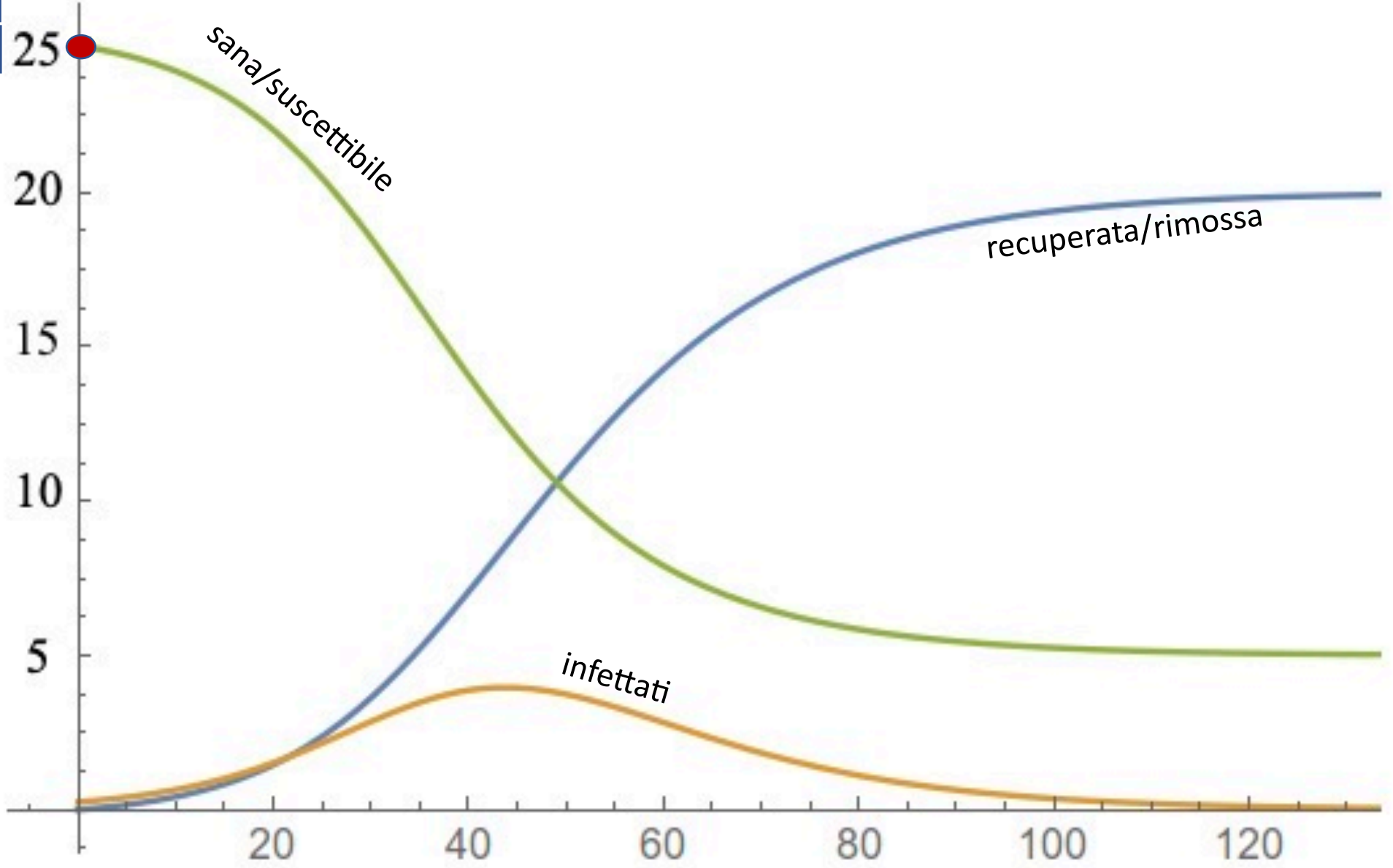
La classe S, (persone Sane/ suscettibili ), diminuisce.

La classe R (persone ricoverate), aumenta.

La classe I (persone Infettate), COSA SUCCEDDE?

# Applicazione Modello SIR

1	1	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
2	2	2								
3	4	5								

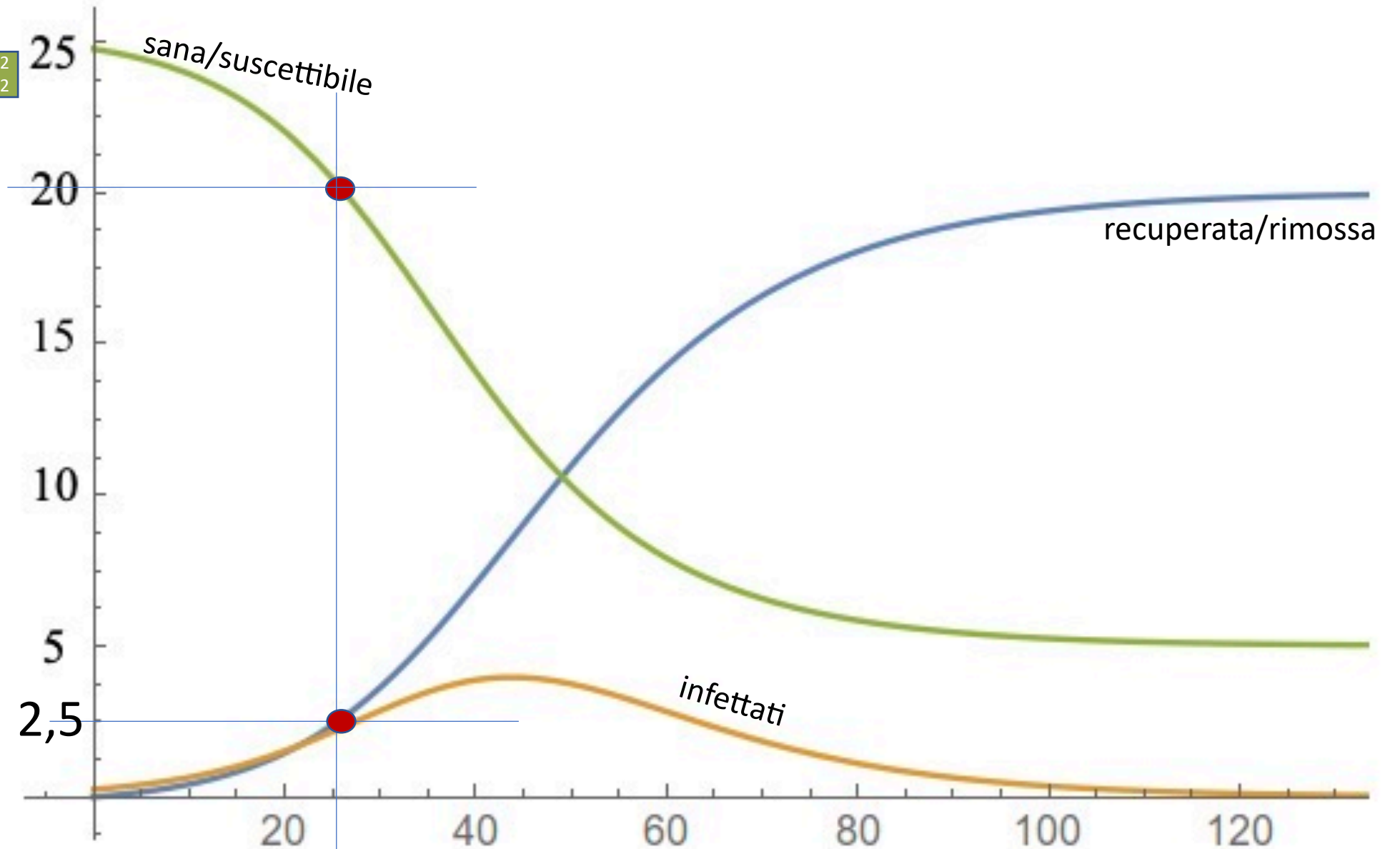




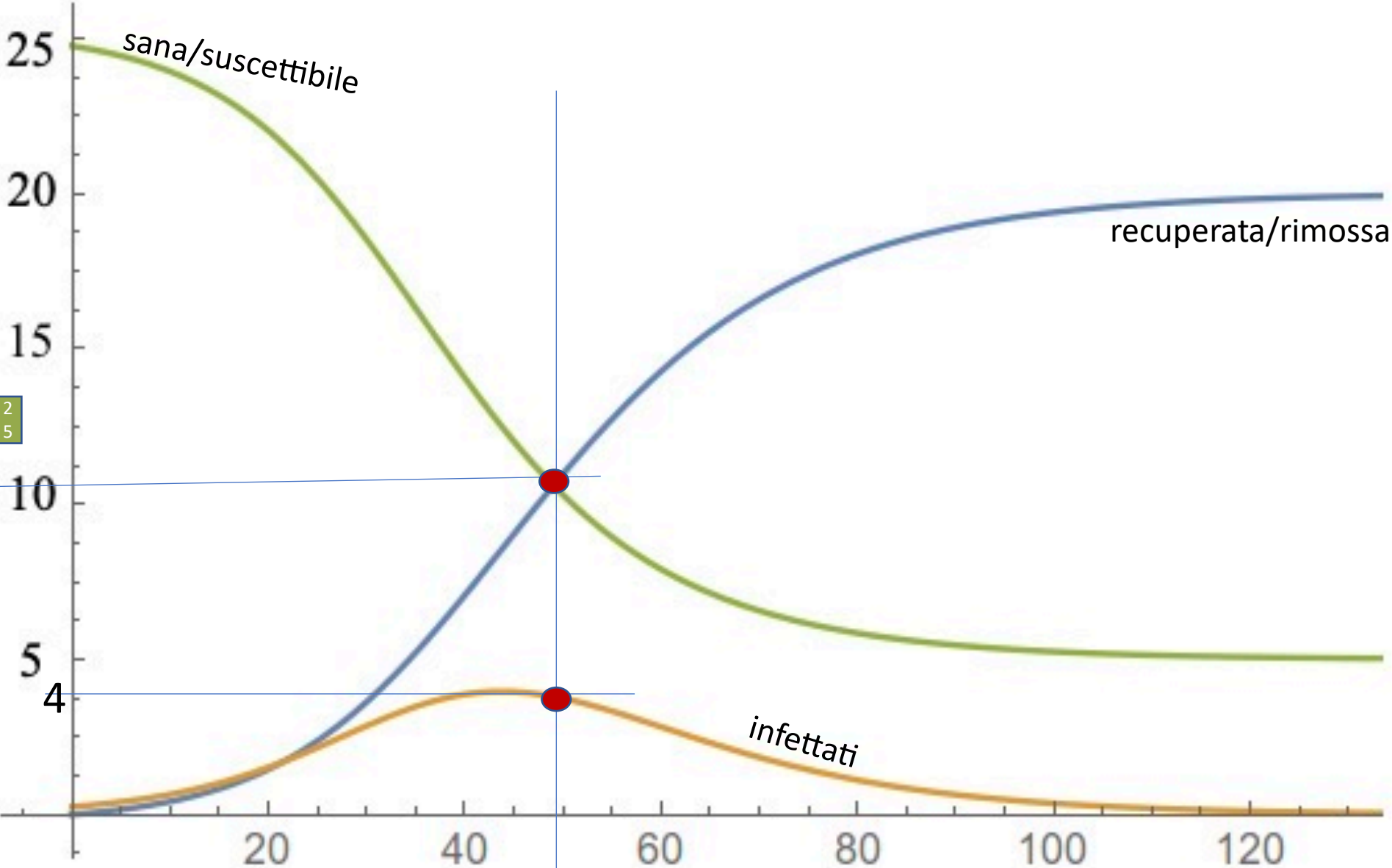
# Applicazione Modello SIR

1	1	9	8	7	6				
1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
2	2	2							
3	4	5							

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---



# Applicazione Modello SIR



1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2  
5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5

1 1 1 1 1 9 8 7 6 5  
4 3 2 1 0

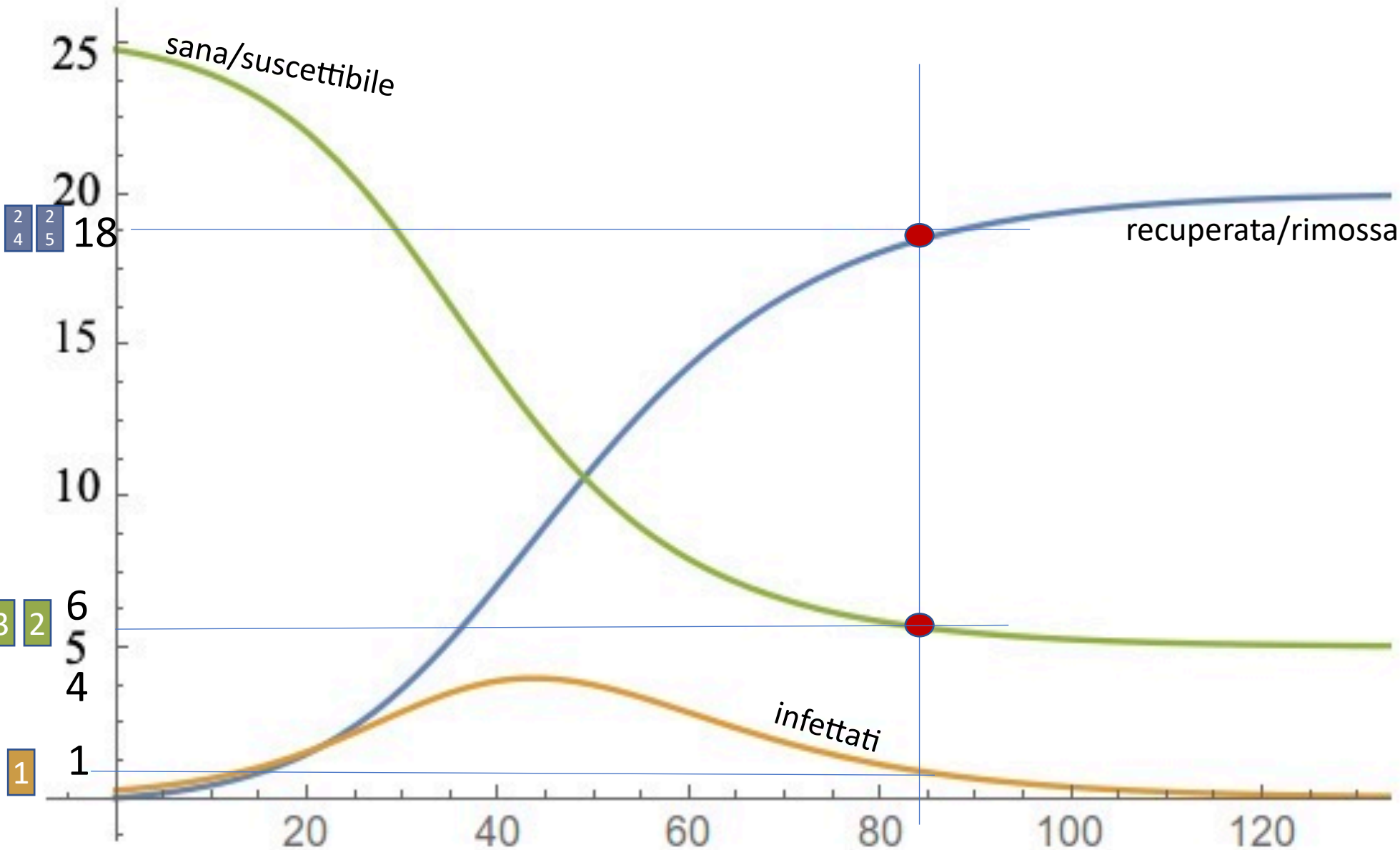
4 3 2 1

# Applicazione Modello SIR

1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5

1	1	1	1	1	9	8
4	3	2	1	0		



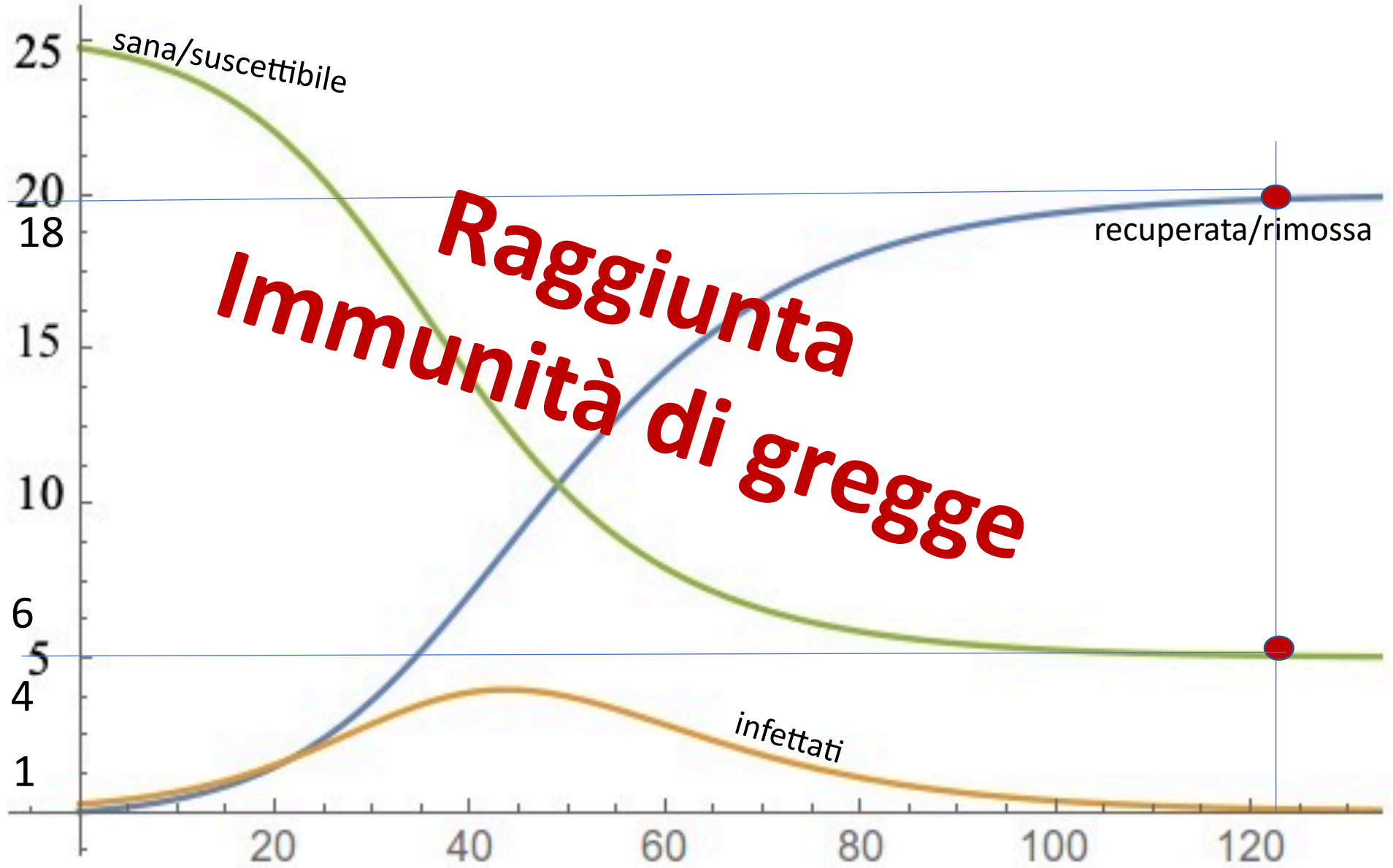
7 6 5 4 3 2

1

# Applicazione Modello SIR

1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	9	8	7	6		
4	3	2	1	0						

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---



Consideriamo una popolazione di 200 individui

Studiamo il fenomeno su queste 200 persone

I numeri delle tre classi S, I, R variano rispetto al tempo (misurato in giorni)

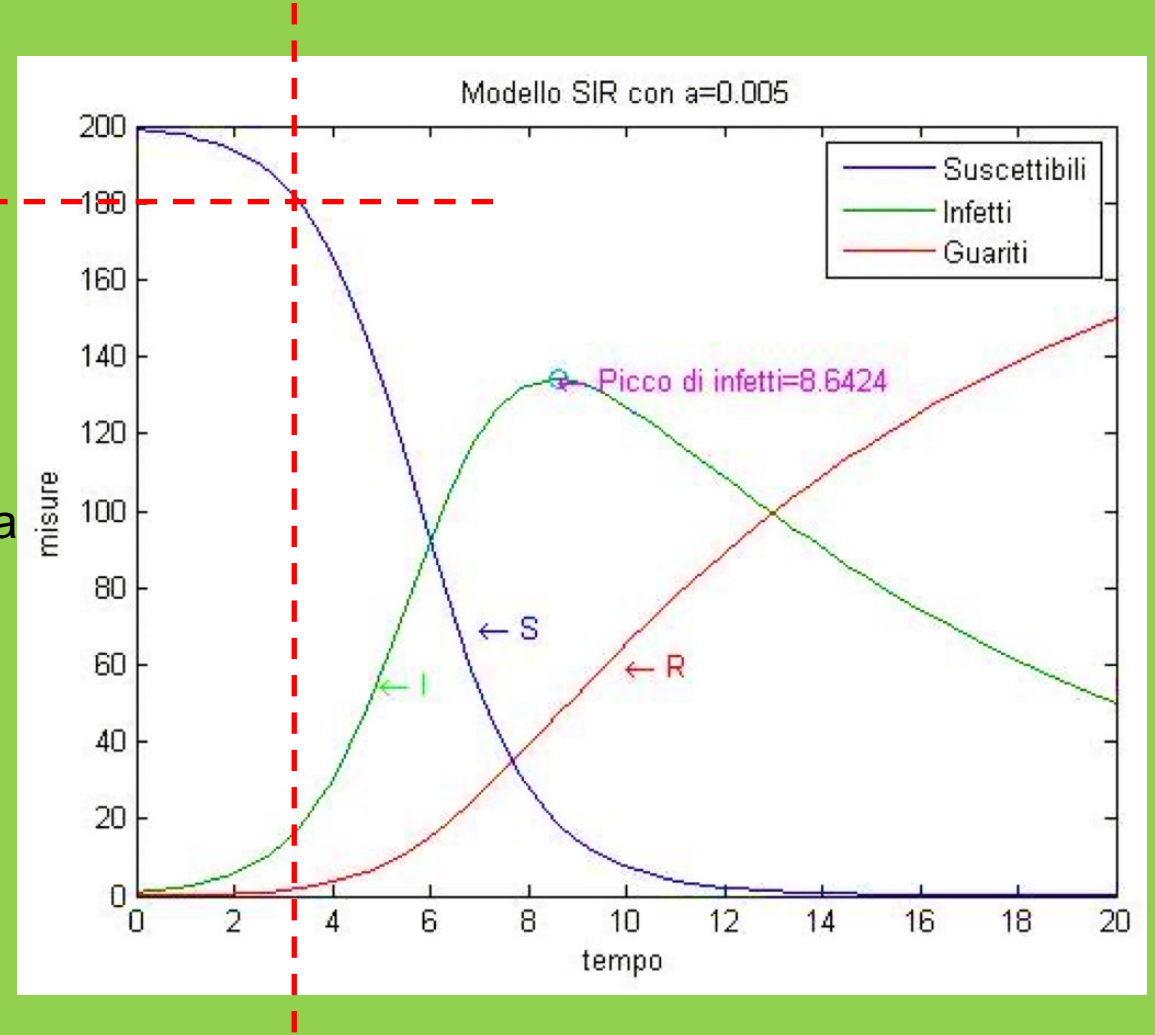
perché ?

all'inizio, al tempo  $t=0$ , il primo giorno di osservazione tutta la popolazione è sana e quindi = 200 Persone,

man mano che passano i giorni:  
 la classe S (persone che possono essere infettate) diminuisce,

la classe R (persone ricoverate) aumenta

e la classe I?



# la classe I

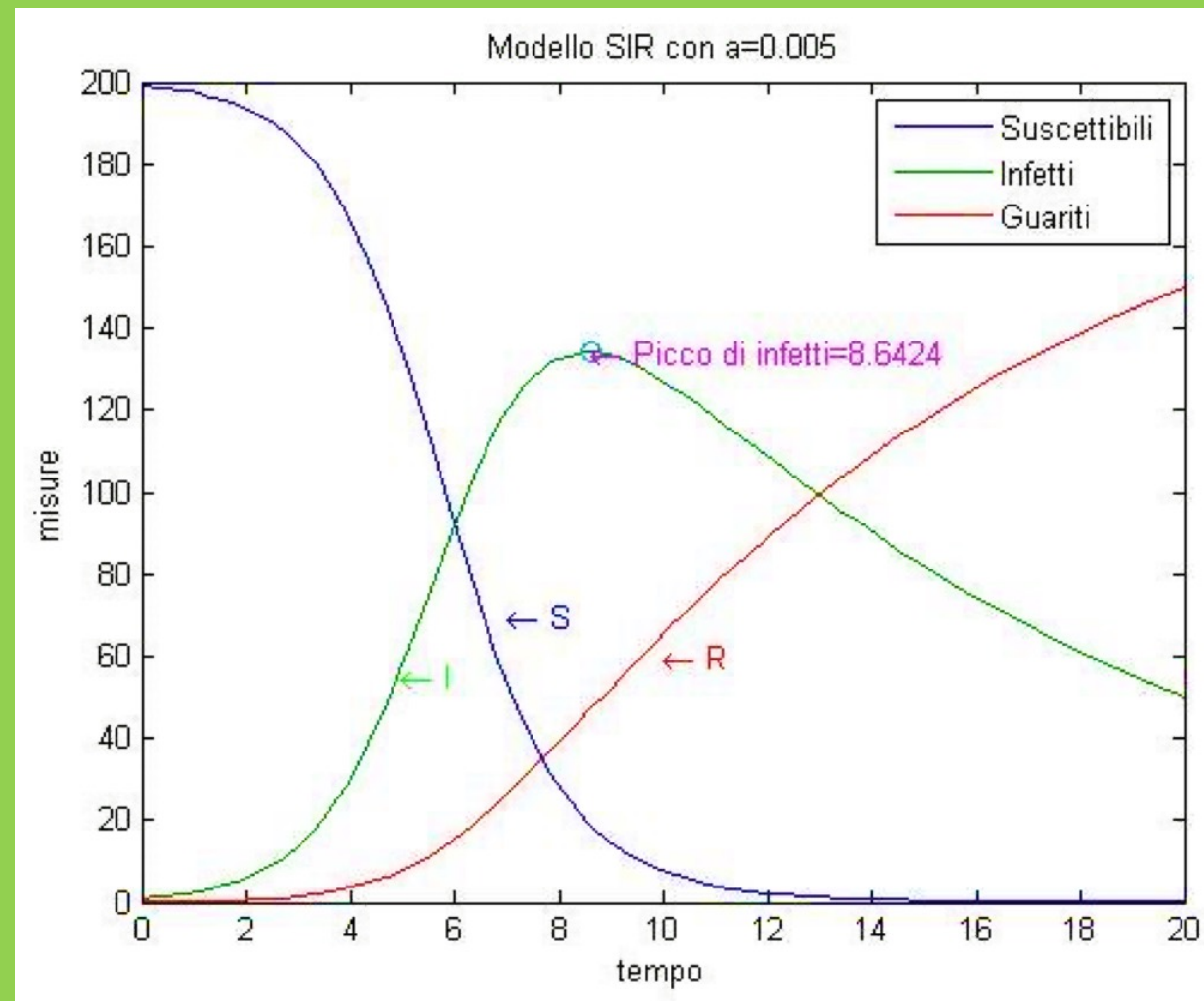
Dall'osservazione del grafico:

notiamo (linea verde) che il numero delle persone infette :

- cresce,
- ha un picco, (visto in una slide precedenti)
- poi decresce.

Il numero delle persone sospette (linea nera) scende fino ad azzerarsi

Il numero delle persone risolte perche guarite, isolate, decedute (linea marrone) si arresta fino a rimanere costante

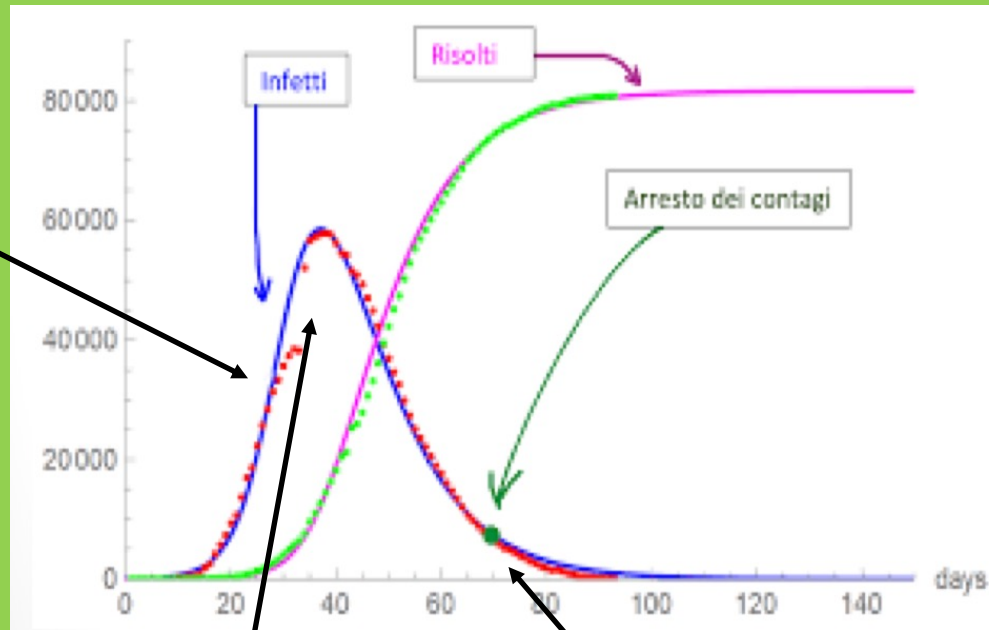


# La curva degli infetti, presenta **tre fasi della malattia**:

La prima fase è **esponenziale**,

la seconda descrive il **picco**,

La terza **l'arresto dei contagi**



La curva **rosa** e **verde**, descrivono un fenomeno in cui i guariti riescono a rimanere in salute:

- perché diventati immuni,
- grazie al distanziamento sociale
- E grazie a nuovi farmaci e vaccini.

### Art. 32 Costituzione

La Repubblica tutela la **salute** come **fondamentale diritto** dell'individuo e **interesse della collettività**, e garantisce **cure gratuite agli indigenti** –

Nessuno può essere obbligato a un determinato trattamento sanitario se non per disposizione di legge.

La legge non può in nessun caso violare i limiti imposti dal rispetto della persona umana

### Art. 41 Costituzione

L'iniziativa economica privata **è libera**.

**Non può svolgersi** in contrasto con l' utilità sociale o **in modo da recare danno** alla **sicurezza**, alla **libertà**, alla **dignità umana**.

La **legge determina** i programmi e i controlli opportuni perché **l'attività economica pubblica e privata** possa essere indirizzata e **coordinata a fini Sociali**.





## Art. 13 Costituzione

La **libertà personale è inviolabile**. Non è ammessa forma alcuna di detenzione, di ispezione o perquisizione personale, né qualsiasi altra restrizione della libertà personale, se non per atto motivato dall'autorità giudiziaria e nei soli casi e modi previsti dalla legge.

## Art. 16 Costituzione

**Ogni cittadino** può circolare e soggiornare **liberamente** in qualsiasi parte **del territorio nazionale**, salvo le limitazioni che la legge stabilisce in via generale per motivi di sanità o di sicurezza.

Nessuna restrizione può essere determinata da ragioni politiche.

## Nota

In una lettura dinamica ed aggiornata della norma che il Governo ha voluto dare in una situazione pandemica, la salute della comunità prevale sul diritto inviolabile della libertà personale sancito dall'art. 13.



## Art. 2087 Codice Civile

L'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro .....

La sicurezza e la salute del lavoratore si coniuga sulle tre integrità

- Integrità fisica (salute e sicurezza nel lavoro)
- Integrità morale (onore e decoro personale) • Integrità psicologica (art. 28 D.lgs. 81/08 .... stress-lavoro correlato, mobbing, etc.)



**Fonte dei grafici:**

<https://www.scienzainrete.it/articolo/analisi-dei-dati-epidemiologici-del-coronavirus-italia-al-23-marzo/giovanni-sebastiani/2020>

<https://lab24.ilsole24ore.com/coronavirus/>

[https://www.news-medical.net/health/What-is-R0-\(Italian\).aspx](https://www.news-medical.net/health/What-is-R0-(Italian).aspx)

<https://www.epicentro.iss.it/focus/sars/oms-8-5-2003>

***Quindi, dalla matematica, dal modello logistico al modello SIR***

***Il futuro dipende da noi.***