



Lezioni Lincee di Matematica

4 Maggio 2021

Accademia Nazionale dei Lincei

Cos'è e come si produce un risultato scientifico

Carlotta Maffei
Dipartimento di Matematica di
Sapienza Università di Roma



FAKE NEWS

Specialmente in questi ultimi tempi, molte **notizie false, parzialmente vere o verosimili** (le cosiddette “*fake news*”) sono state diffuse attraverso mezzi di informazione di massa.

Queste notizie possono riguardare temi o personaggi della politica, dello spettacolo, fatti che hanno a che fare con salute, sicurezza, economia o anche con questioni scientifiche.

Perché vengono diffuse notizie inattendibili?

Lo scopo è quello di **condizionare le opinioni**,
di **creare scandalo** o, più semplicemente,
quello di **disinformare**.

Ad esempio

Il **14 agosto 2018** è avvenuto a Genova il crollo del “*Ponte Morandi*”.

Sono morte 43 persone.

Moltissime foto del tragico avvenimento sono circolate in rete.



Questa è una delle foto più diffuse (e certamente relativa all'avvenimento).

MA ...

... sono state diffuse anche altre foto con l'apparente obiettivo di documentare lo stato disastroso delle strutture già prima del crollo.



Questa foto è stata però scattata nel 2011 e si riferisce al ponte di Ripafratta (PI), già chiuso e poi demolito nel 2020.

Visto che la “*creatività*” non ha limiti
altre false notizie diffuse in rete hanno attribuito il crollo ad una **esplosione** dovuta ad una carica di tritolo o al cattivo funzionamento di “**sistemi bellici d'avanguardia**” (armi a microonde ...)!!

Invece di verificare il contenuto delle notizie, molti reagiscono **credendo a qualunque affermazione** (e la divulgano), amplificandone la portata. Secondo il Censis, quasi il 60% dei giovani “*under 30*” dà fiducia a ciò che viene diffuso in internet o tramite Facebook.

Altri invece decidono che di **non credere sistematicamente**, vanificando i vantaggi che i mezzi di informazione attuali possono offrire. Una ricerca di *Observa - Science and Society* rileva che circa il 55% degli Italiani ritiene che le notizie scientifiche riguardanti tecnologia, medicina e salute divulgate attraverso internet o social media non siano attendibili, anche se le fonti sono specializzate.

Specialmente in ambito scientifico essere in grado di distinguere una notizia affidabile da una falsa è invece della massima importanza !



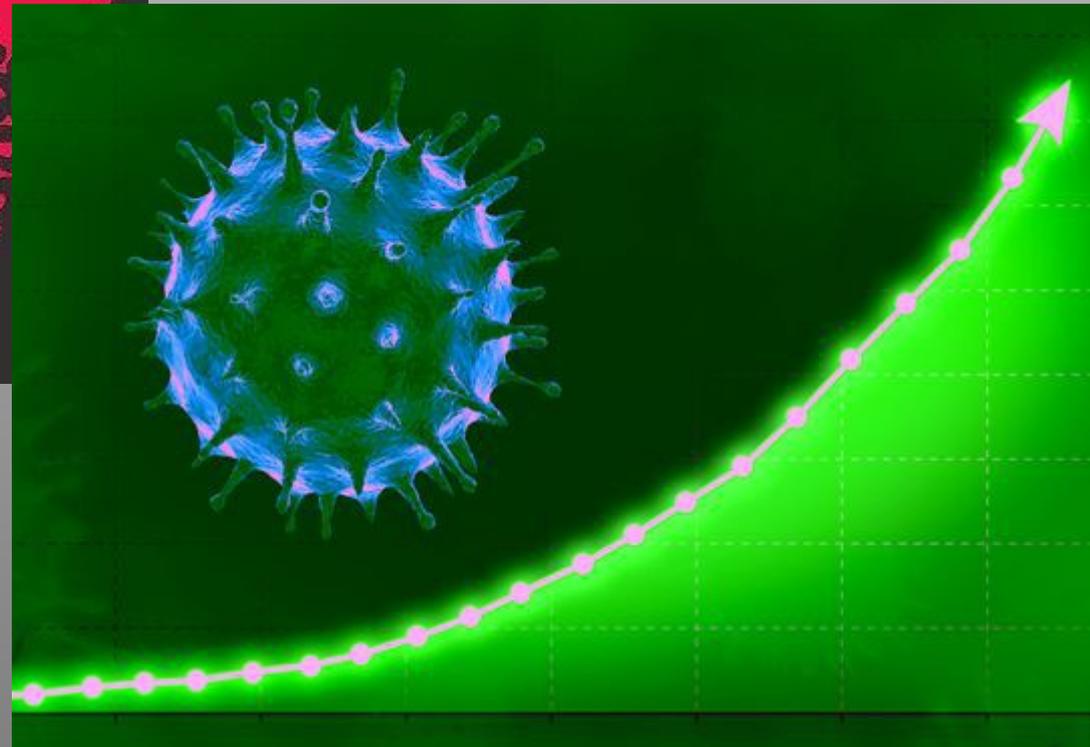
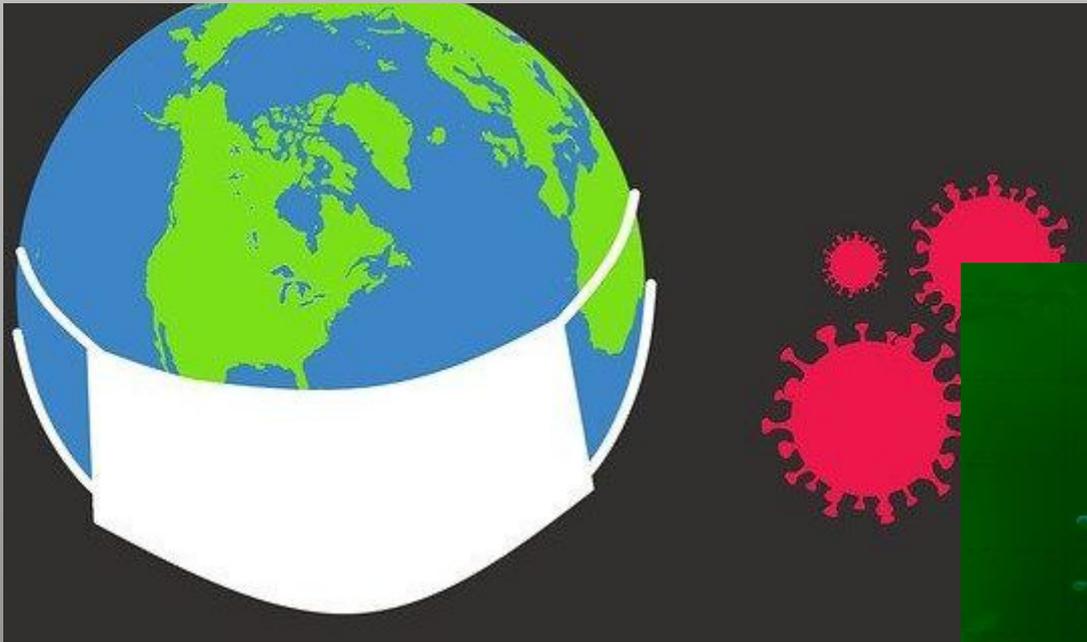
Come si fa a capire se una notizia riguardante un risultato scientifico è attendibile?

Sarebbe utile, per prima cosa, avere qualche idea sui **contenuti del risultato**. Questo non è troppo difficile: molti sono i testi di divulgazione che ci permettono di ottenere informazioni generali affidabili e anche in rete sono disponibili conferenze, presentazioni che possono introdurci alle questioni trattate.

Non è possibile, evidentemente, diventare “esperti” di questioni scientifiche in poco tempo. E' però possibile comprendere ogni volta **le modalità con le quali si ottiene un risultato scientifico**, quali siano le sue potenzialità e anche gli eventuali limiti.

In questo modo potremo non solo a capire perché i tempi della ricerca appaiono a volte troppo lunghi, ma saremo anche in grado di inquadrare correttamente il ruolo sociale svolto dai ricercatori e apprezzare il loro lavoro, attribuendo quindi fiducia a ciò che producono.

Un esempio, legato alla tematica dell'incontro di oggi - *il controllo delle epidemie e i modelli matematici* -, può aiutarci a comprendere meglio.



Quaranta anni di risultati scientifici.

Negli anni '80 dello scorso secolo viene identificata una nuova grave malattia che inizia a diffondersi nel mondo, diventando rapidamente *una pandemia*.



La nuova malattia si trasmette con un meccanismo all'inizio ignoto. Si capisce presto che si tratta di una *sindrome* (cioé di un insieme di sintomi che sono riferibili a più di una malattia) che determina una grave **deficienza del sistema immunitario** che conduce alla morte.

La sindrome verrà detta “dell'immunodeficienza acquisita” (HIV/AIDS).

In circa 40 anni, la malattia ha contagiato in tutto il mondo, più di 60 milioni di persone e di queste più di 25 milioni sono morti.

Solo nel 2019 i morti sono stati più di 700 mila e quasi 34 milioni di persone sono oggi infette.

I RICERCATORI AL LAVORO

PRIME OSSERVAZIONI SULLA MALATTIA: IL CONTAGIO

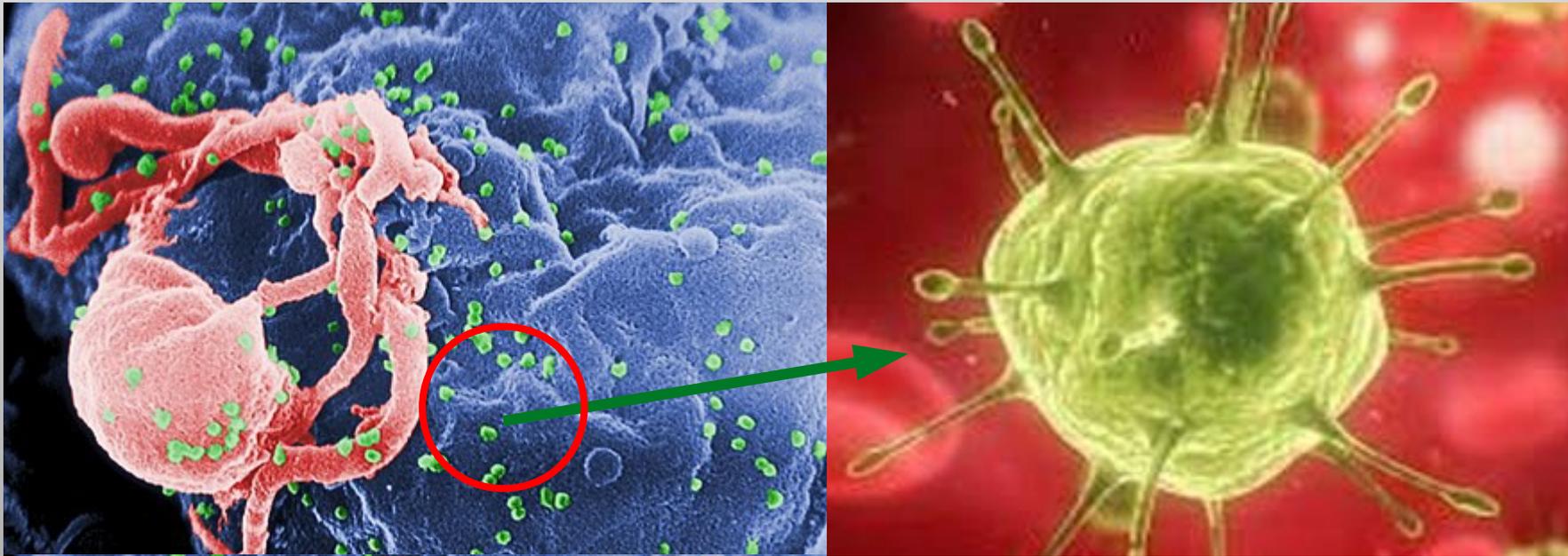
All'inizio sembra che il contagio riguardi solo i membri di comunità gay o coloro che fanno uso di droghe iniettabili.

Rapidamente appare però chiaro che la trasmissione può avvenire attraverso passaggi di sangue, plasma, durante la gravidanza e il parto, ma anche in seguito a rapporti sessuali non protetti: **tutti possono essere infettati.**



ORIGINE DELLA MALATTIA E CURE

Fin dall'inizio tutta la comunità scientifica si impegna per capire quale sia l'origine della malattia, quali siano le sue caratteristiche e se sia possibile trovare un vaccino e/o una cura efficace.



IL VIRUS (il primo "retrovirus")

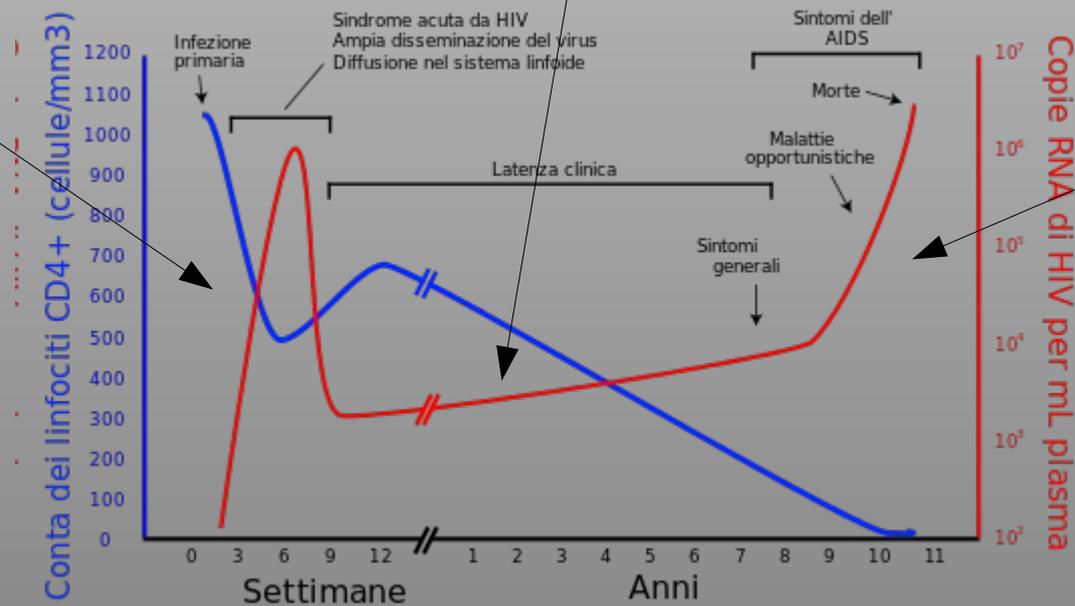
Nel 1983 viene chiarito che la causa della sindrome è **un virus**, che viene chiamato **HIV** (**H**uman **I**mmunodeficiency **V**irus), che attacca e distrugge i globuli bianchi responsabili della risposta immunitaria dell'organismo umano.

Studi genetici degli anni '90 del Novecento mostrano poi che il virus è passato all'uomo, probabilmente agli inizi del '900, provenendo dagli scimpanzé africani (è una **zoonosi**). Lentamente si è diffuso prima in Africa poi in tutto il mondo.

IL DECORSO DELLA MALATTIA

L'infezione viene divisa in **tre stadi**:

- **infezione acuta** (che dura qualche settimana),
- **la latenza clinica** (che può durare fino a 10/12 anni)
- **lo stadio sintomatico** (quello dell'immunodeficienza conclamata o AIDS, che favorisce molti tipi di infezioni che conducono in breve tempo alla morte).



COME SI REALIZZA L'INFEZIONE

Alla fine degli anni '80 i biologi scoprono i meccanismi che determinano il processo infettivo: alcune proteine permettono alle particelle virali di “agganciarsi” alle cellule ospite, di entrarvi e di riprodursi in gran numero.

LA TERAPIA “COMBINATA”

Proprio la scoperta di questi meccanismi permette, negli anni '90, di mettere a punto una terapia (detta **antiretrovirale o terapia combinata**), composta da un mix di farmaci che bloccano o rallentano i processi di penetrazione e replicazione del virus nelle cellule ospite.

Dopo 40 anni, resta invece ancora un obiettivo da raggiungere: quello del vaccino.

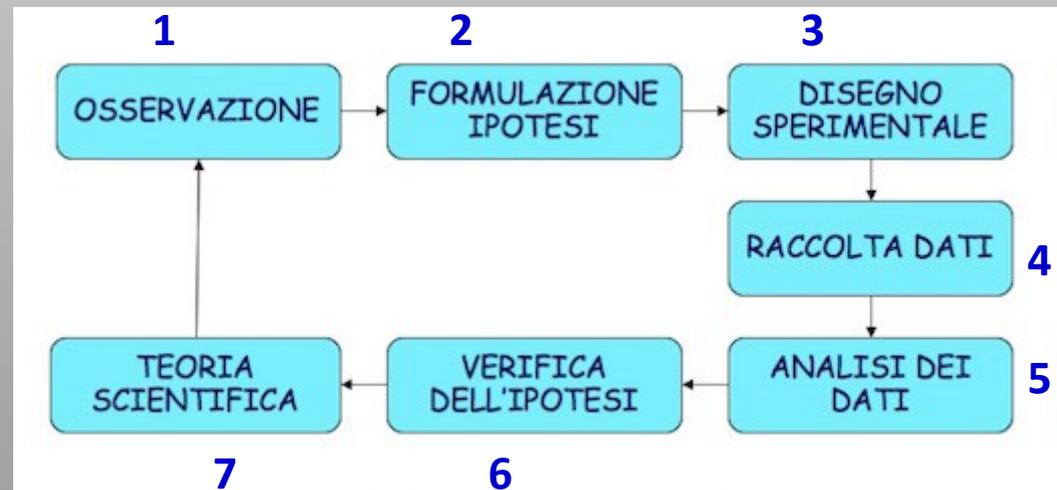
La variabilità genetica del virus è talmente elevata da non permetterne la messa a punto.

IL METODO SCIENTIFICO

Tutte queste scoperte, avvenute in poco più di un decennio, sono il frutto di ricerche di medici, biologi, virologi, chimici e matematici e fisici di tutto il mondo.

Tutti possono lavorare insieme e capirsi perché tutti usano lo stesso procedimento di indagine:

il metodo scientifico. →



Mai prima dell'epidemia di HIV era stato fatto uno sforzo collettivo così ampio per studiare una malattia epidemica.

Lo studio delle conseguenze teoriche di un modello matematico, oltre a fornire verifiche sulla correttezza delle ipotesi fatte, apre spesso nuove prospettive perché permette di fare **previsioni** sullo sviluppo futuro del fenomeno in studio.

Che significa fare previsioni?

(Previsione = predizione, profezia, pronostico ...)

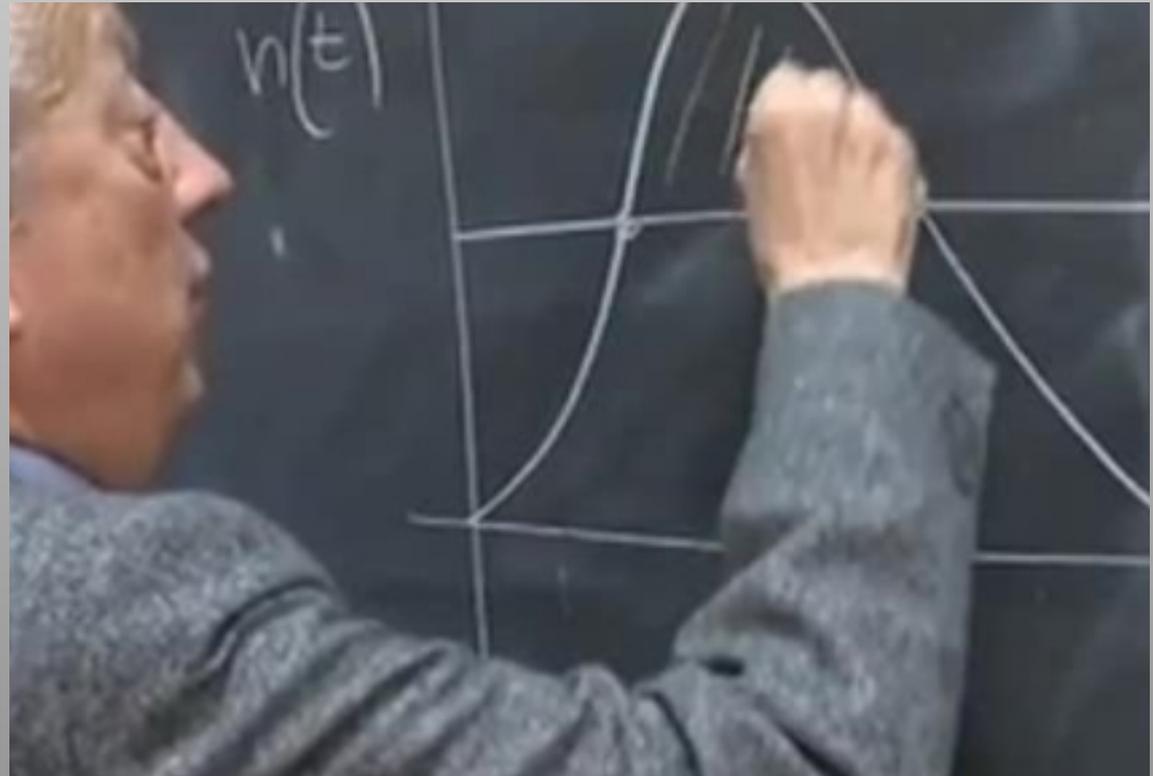


LA MATEMATICA DELL'AIDS

Quasi tutti i modelli sull'Hiv/Aids prendono le mosse da un **“modello matematico del ciclo vitale del virus”** .

La prima cosa da fare per costruire un modello (semplice) è quella di chiedersi:

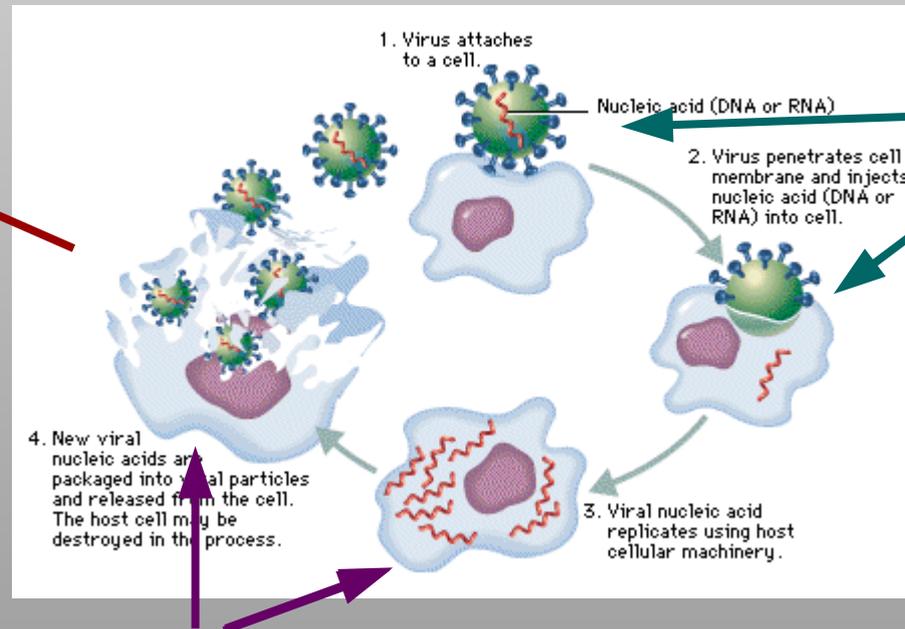
“quali sono le caratteristiche principali del ciclo vitale del virus”?



IL CICLO VITALE DEL VIRUS

Come le cellule o i batteri anche i virus

muoiono



nascono

si riproducono

Altra osservazione importante:

il virus contagia sempre più perché, nel tempo, aumenta la numerosità delle particelle virali che passano da un individuo all'altro.

... TRADOTTO IN MATEMATICA

In linguaggio matematico dobbiamo descrivere il fatto che **V**, numerosità delle particelle virali, è **una funzione del tempo**. Chiamiamola **V(t)**.

Perché varia V(t)? Perché le particelle **nascono**, **si riproducono** e **muoiono**.

Supponiamo che ad un certo momento, l'istante $t = 0$ della prima osservazione, si rilevino **$V(t = 0) = V_0$** particelle virali.

Supponiamo inoltre che alla successiva osservazione, al tempo $t = 1$, il numero di particelle sia **$V(t = 1) = V_1$**

Possiamo scrivere allora

$$V_1 = V_0 + n^\circ \text{ nuove particelle} - n^\circ \text{ particelle morte.}$$

Come esprimiamo matematicamente il numero delle nuove particelle e quello delle particelle morte?

$$\mathbf{n^\circ \textit{ nuove particelle} = nV_0}$$
 n costante di proporzionalità

(Se, ad esempio, il n° di nuove particelle è il triplo di quello osservato inizialmente, si ha $n = 3$ e scriviamo $n^\circ \textit{ nuove particelle} = 3V_0$).

Analogamente

$$\mathbf{n^\circ \textit{ particelle morte} = mV_0}$$
 m costante di proporzionalità

(Se il n° particelle morte è, ad esempio, il 10% di quelle osservate inizialmente, si ha $m = 0.1$ e scriviamo $n^\circ \textit{ particelle morte} = 0,1V_0$).

Possiamo scrivere quindi

$$V_1 = V_0 + nV_0 - mV_0 = (1 + n - m)V_0$$

n° particelle alla seconda osservazione

n° nuove particelle

n° particelle iniziali

n° particelle morte

n e **m** sono le costanti che caratterizzano natalità e mortalità.

Alla terza osservazione, se niente è cambiato, si ha

$$V_2 = V_1 + nV_1 - mV_1 = (1 + n - m)V_1 = (1 + n - m) [(1 + n - m)V_0] = (1 + n - m)^2 V_0$$

Alla quarta osservazione

$$\begin{aligned}V_3 &= V_2 + nV_2 - mV_2 = (1 + n - m)V_2 = (1 + n - m) [(1 + n - m)^2 V_0] = \\ &= (1 + n - m)^3 V_0\end{aligned}$$

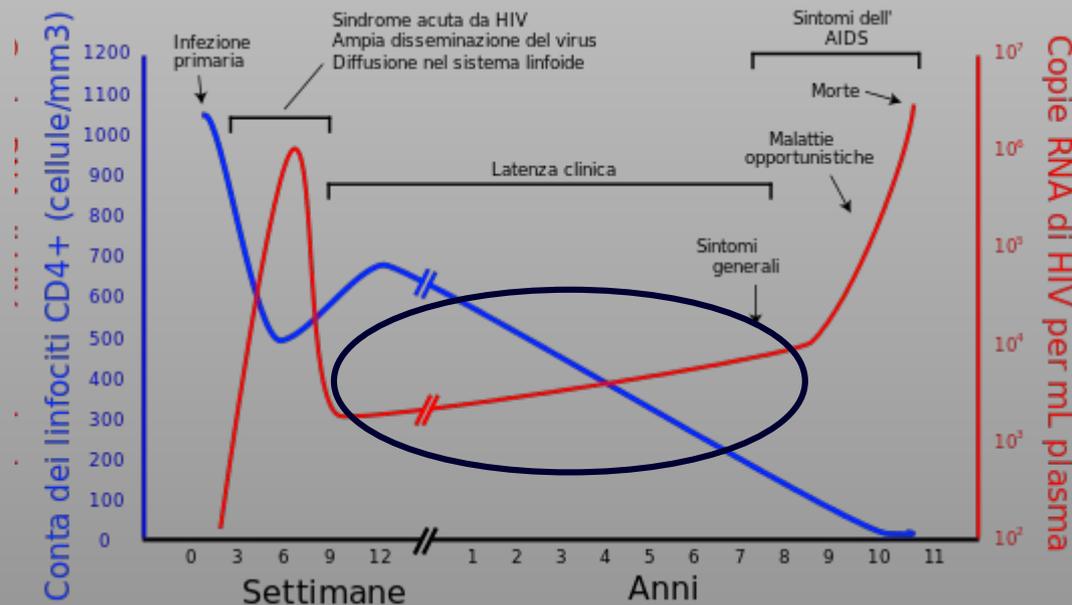
In generale, dopo $k + 1$ osservazioni, il modello prevede che il numero di particelle virali sia

$$\begin{aligned}V_k &= (1 + n - m)V_{k-1} = (1 + n - m) [(1 + n - m)^{k-1} V_0] = \\ &= (1 + n - m)^k V_0\end{aligned}$$

se $n - m > 0$, V_n aumenta esponenzialmente!

Il primo obiettivo è quello di **verificare la correttezza del modello** confrontando le previsioni teoriche con i dati sperimentali. Le osservazioni hanno mostrato che il modello prevede correttamente quello che accade.

Successivamente l'interesse dei ricercatori si è rivolto all'**impatto del virus nella fase di latenza clinica**. A questo scopo era necessario valutare n e m .



Problema: come calcolare n e m per l'HIV?

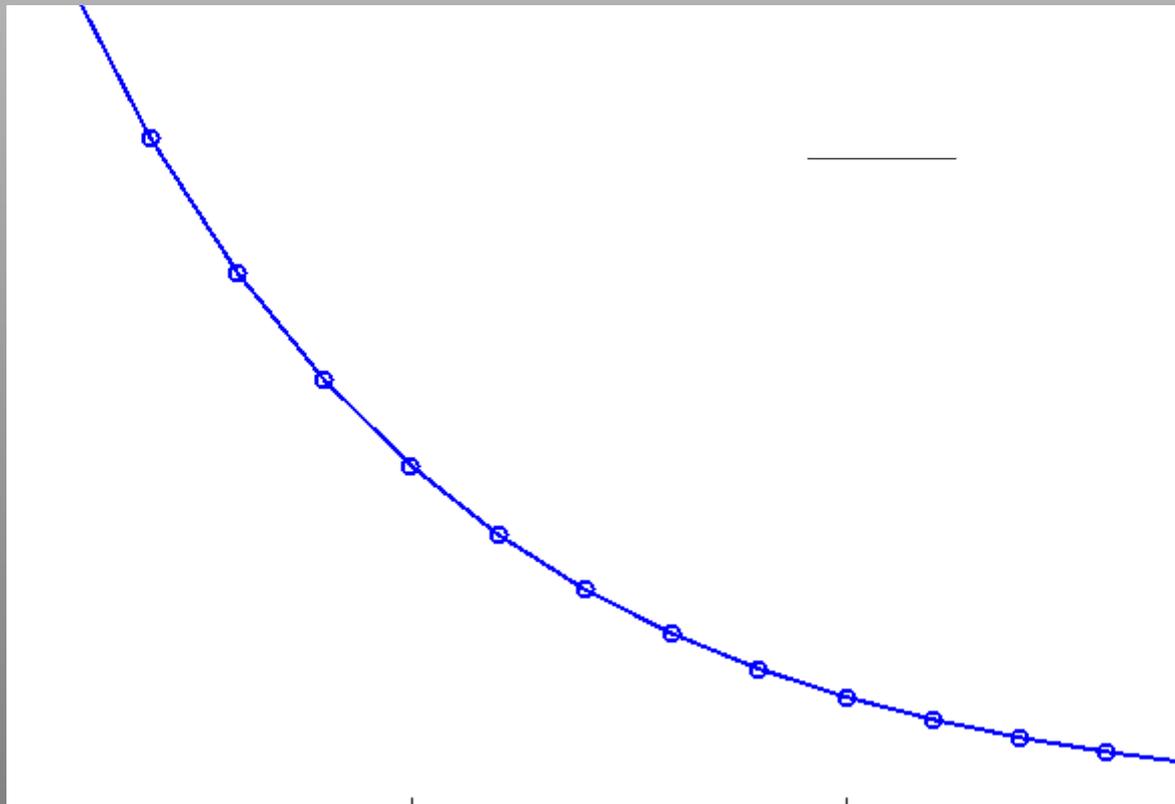
Calcolo di m. Sotto l'azione dei farmaci antiretrovirali il virus non si riproduce più ($n = 0$).

In questo caso, il modello si riscrive

$$V_k = (1 - m)^k V_0$$

Il numero delle particelle virali decresce, visto che $1 - m < 1$.

n° particelle



osservazioni

Si può inoltre verificare sperimentalmente che il numero delle particelle virali si dimezza, rispetto a quello iniziale in circa 2 giorni .

Se si fa 1 osservazione al giorno, in 2 giorni si ha

$$V_2 = (1-m)^2 V_0 = V_0/2 .$$

Si deve risolvere il problema

$$(1-m)^2 V_0 = V_0/2$$

$$1 - m^2 - 2m = 1/2$$

Non è difficile verificare che **m vale circa 0.23**.

(Questo valore è indipendente dall'azione del farmaco ed è caratteristico delle cellule virali dell'HIV)

Nella fase di latenza clinica, quante nuove cellule virali vengono prodotte ?

Calcolo di n

Durante la latenza, il numero delle particelle è approssimativamente lo stesso ad ogni osservazione: se V_L è il valore iniziale e V_{L+1} il successivo valore, si ha $V_{L+1} = V_L$.

Il modello si scrive

$$V_{L+1} = V_L = (1 + n - m)V_L \quad V_L = V_L + (n - m)V_L \quad 0 = (n - m)V_L$$

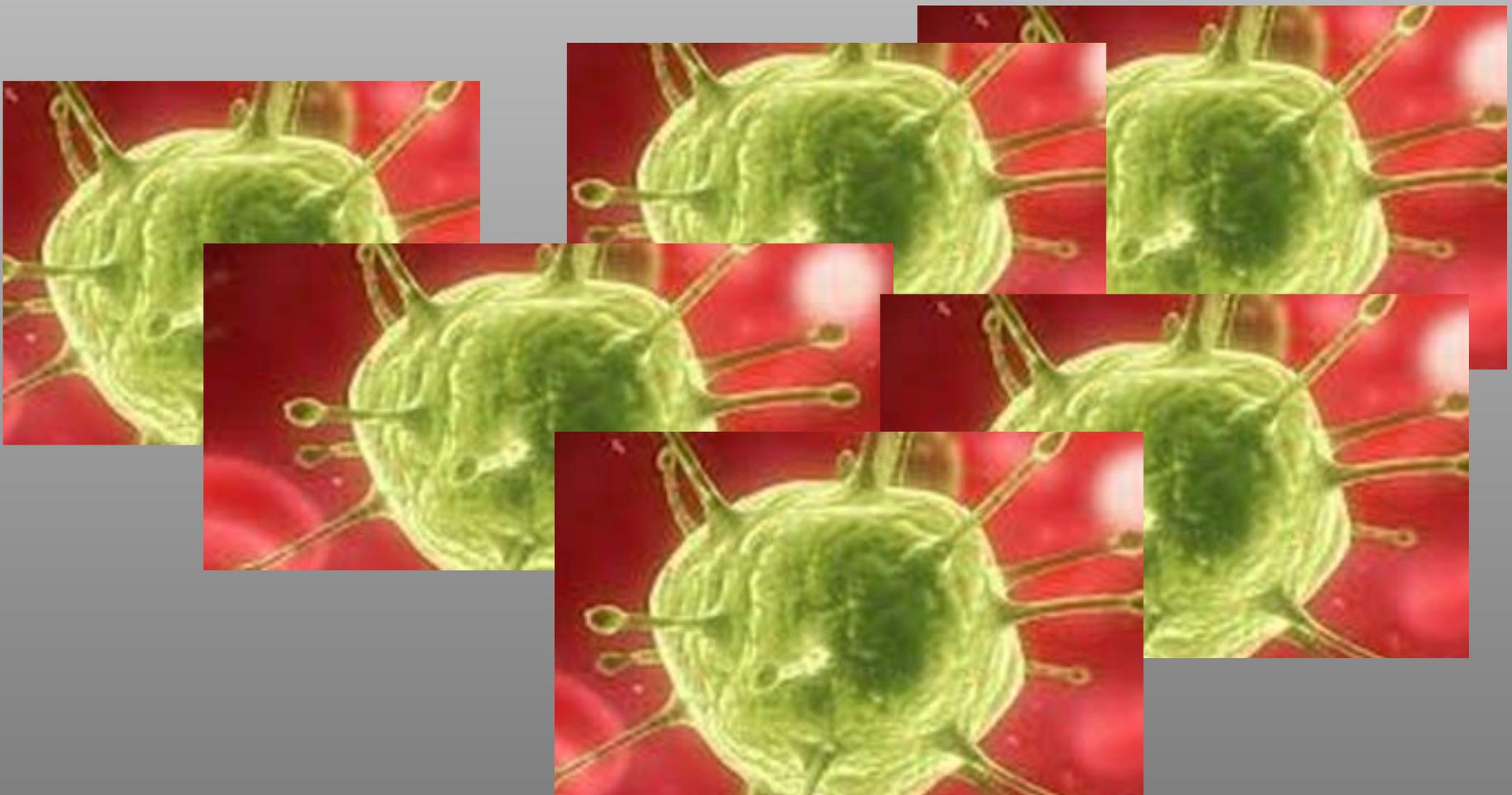
quindi $m = n$.

Sperimentalmente si osserva che V_L vale circa 10^7 / ml (in un millilitro di sangue ci sono **circa** 10 milioni di cellule virali).

Visto che $n = m = 0.23$ circa, il numero di nuove cellule virali prodotte in ogni unità di tempo è più di **2 milioni di cellule per millilitro di sangue nella fase di latenza!!**

Questo risultato ha permesso al medico americano pioniere della terapia antiretro virale e autore con altri di questo risultato (**dott. D. Ho**), di dire

“solo la matematica ci ha permesso di capire che, quando pensavamo che nulla stesse succedendo, succedeva l'inferno” ...



GRAZIE DELLA VOSTRA ATTENZIONE !