

## Chiarimenti sul significato di Ro ed Rt

### Indice:

1. Premessa
2. Significato di Ro
3. Significato di Rt
4. Incomprensione diffusa del significato di Ro ed Rt
5. Chiarimenti su una recente "gaffe"

### 1. PREMESSA

È iniziata da poco la "Fase 3" e **per comprendere meglio il motivo dei comportamenti "cautelativi"** che continuano ad essere richiesti anche in questa fase per non regredire a fasi precedenti, può essere utile qualche chiarimento sul significato reale dell'indice epidemiologico **Ro** e del suo "fratello minore" **Rt**, indici che da settimane vengono sistematicamente citati anche se talvolta impropriamente, come dimostra l'infelice esempio venuto in mente ad un assessore regionale per **"spiegare l'Rt al popolo"**.

Per inciso, ritengo che l'errore commesso dall'assessore nello spiegare cosa significa **Rt=0,51** sia molto meno evidente di quanto sia stato denunciato dai suoi critici, per capire la competenza dei quali al riguardo sarebbe istruttivo farsi spiegare **"con parole loro"** perché si tratti di uno svarione... (e comunque imparagonabile con quello della Gelmini ed il suo "tunnel di 700 km" dal Gran Sasso a Ginevra!).

Una volta chiarito il significato degli indici in questione, dovrebbe essere abbastanza agevole capire perché  $R_t = 0,51$  **non** significa che:

**"Per infettare una persona ne servono due nello stesso momento infette in quanto l'indice è a 0,50 e questo vuol dire che non è così semplice [...] mentre quando l'indice è a 1 basta incontrare una persona infetta per infettarsi"**.

### NdA

**Le considerazioni che seguono non sono (né vogliono esserlo) di tipo virologico o epidemiologico in senso proprio, ma derivano da alcuni concetti base di statistica, applicabili egualmente al campo epidemico come a quello industriale, demografico, elettorale, etc.**

### 2. SIGNIFICATO DI Ro

Senza scendere in troppi dettagli, **Ro** (Numero di Riproduzione di Base) è definibile come il **numero medio di infezioni "secondarie"**, ossia provocate **direttamente**, prodotte da **un singolo** individuo infetto **nel corso del suo periodo di infettività** in una popolazione **"interamente suscettibile"** (cioè nella quale **praticamente tutti** sono infettabili).

Supponendo di essere riusciti a stabilire che l'**Ro** di una malattia infettiva al suo stadio iniziale valga **esattamente 2**, ciò significa che **un** singolo infetto (che sia asintomatico, pauci-sintomatico, sintomatico in cura a casa, oppure sintomatico ospedalizzato non cambia molto) infetterà **direttamente** altre **due** persone come **risultato complessivo** del periodo di tempo in cui è stato contagioso, **indipendentemente dal momento specifico in cui le ha infettate**: quest'ultima precisazione è fondamentale per capire che **Ro non** è un **"tasso di infezione"** (se lo fosse **crescerebbe con il tempo** durante il suo periodo di infettività), ma è invece un **"indice statistico"** (ossia un numero puro **"a cose fatte"**). Tuttavia, la differenza fra tasso e indice, teoricamente rilevante, ha un'importanza marginale per rendersi conto del suo significato concreto perché quello che conta è sapere che quanto maggiore è il valore di **Ro** tanto più elevata è la rapidità della diffusione del contagio: il numero totale degli infetti a partire dallo scoppio dell'epidemia, cresce comunque all'inizio in modo esponenziale, ma la rapidità con cui cresce dipende dal valore di **Ro**.

Facciamo un esempio:

- se  $R_0 = 2$ , da un infetto iniziale ne saranno direttamente infettati **2**, ciascuno dei quali ne infetterà altri 2, e quindi ce ne saranno **4**, che a loro volta ne infetteranno 2 ciascuno per un **totale di 8** dopo un tempo pari a **tre "intervalli seriali"** (è spiegato più avanti di che si tratta; per adesso è sufficiente sapere che l'intervallo seriale è un periodo di tempo dell'ordine di qualche giorno che dipende dal tipo di virus e dalla "risposta media" delle persone contagiate)

- se  $R_0=3$ , da un infetto iniziale ne saranno infettati **3**, ciascuno ne infetterà altri 3 e quindi ce ne saranno **9**, che a loro volta ne infetteranno 3 ciascuno per un **totale di 27** sempre dopo **tre** intervalli seriali

Per  $R_0=4$  ce ne saranno **64**, per  $R_0=5$  ce ne saranno **125** (sempre da un solo infetto iniziale e sempre dopo **tre** intervalli seriali) e così via...

Con questi numeri in gioco dovrebbe essere evidente perché si parla di "**scoppio**" di un'epidemia, perché da un singolo "**focolaio**" si può passare ad avere in alcuni giorni centinaia di nuovi casi e perché è così importante la rapidità nell'individuare il "**paziente zero**" di un focolaio infettivo e tracciare i suoi contatti isolandoli per "tagliare" il ritmo di crescita, altrimenti esponenziale.

Dopo un certo tempo dallo "scoppio iniziale" la crescita rallenta per i motivi che saranno esposti in seguito, l'indice "**R**" diminuisce progressivamente come valore rispetto all' $R_0$  iniziale ed è quindi opportuno cambiargli nome chiamandolo **Rt** (Numero di Riproduzione Effettivo) per distinguerlo dall'indice iniziale che aveva il valore **R<sub>0</sub>**.

**Non** si tratta di due indici diversi, ma del **medesimo indice** calcolato in momenti diversi: **R<sub>0</sub>** all'inizio dell'epidemia, durante la fase espansiva pura in cui mantiene un valore **praticamente costante** (è un indice "**statico**") ed **Rt** durante lo sviluppo dell'epidemia, variabile nel tempo in funzione dell'andamento dei **nuovi** contagi (è un indice "**dinamico**").

Graficamente la curva degli "infetti totali" si appiattisce, cambiando andamento (da **R<sub>0</sub>** l'indice commuta a **Rt**) e passando da approssimativamente esponenziale (**Rt > 1**) a quasi lineare (**Rt ~ 1**) per diventare infine quasi orizzontale (**Rt ~ 0**): questo significa che il numero degli infetti totali non aumenta praticamente più in quanto non ci sono quasi più nuovi infetti.

Il valore di  $R_0$  dipende essenzialmente da due fattori:

- a) **I: Infettività**. È la probabilità che, in un **singolo contatto** fra un infetto e un suscettibile, quest'ultimo diventi a sua volta infetto (ciò richiede di norma un certo tempo, denominato periodo di incubazione e variabile da caso a caso). Questa probabilità è estremamente variabile, andando da molto bassa a molto alta perché dipende fortemente dalle **modalità** (vicinanza e orientamento reciproco) e dalla **durata** (secondi, minuti, ore) con cui è avvenuto il singolo contatto, ma dipende anche dalla "**carica virale**" dell'infetto (misurata dal numero di copie del virus presenti in 1 ml di sangue e di norma proporzionale alla quantità di virus presenti nel suo organismo) e dalla "**dose infettante**" (numero medio di particelle virali necessario per scatenare l'infezione in una persona suscettibile, ma senza specifiche patologie pregresse, che le abbia inalate) stimata da alcuni studi essere pari a circa un migliaio di unità del virus in questione.

*Può essere utile accennare al rischio di incoerenza fra l'effettiva "**capacità intrinseca**" di un suscettibile di non farsi infettare da una determinata quantità di virus venuta a contatto con le sue vie respiratorie (capacità assimilabile a una sorta di "**resilienza virale**", termine assolutamente non tecnico...), e la **convinzione** di essere **particolarmente resistente** o viceversa di essere **facilmente infettabile**: convinzioni del genere possono portare a comportamenti eccessivamente cautelativi da un lato o a non adottare neanche le normali precauzioni dall'altro!*

- b) **NC: Numero Complessivo** dei singoli contatti che la persona infetta ha avuto durante l'**intero periodo in cui è stato contagioso** (dipende fortemente dalle abitudini di interazione sociale della popolazione in cui l'epidemia si sta sviluppando) **assumendo che ogni singolo contatto avvenga con un suscettibile** in quanto non c'è ancora un numero significativo di "immuni" perché guariti o vaccinati

È intuitivo che, non considerando per semplicità gli altri fattori citati più avanti, **Ro** sia proporzionale al loro prodotto (**Ro**  $\propto$  **I** x **NC**) in quanto il “numero atteso” di persone infettate direttamente da una singola persona infetta (indipendentemente dalle modalità di trasmissione del contagio) è dato dalla probabilità di infettare in un singolo contatto un suscettibile (**I**) moltiplicata per il numero dei contatti (**NC**) avuti con persone infettabili, inizialmente coincidenti con l'intera popolazione.

Ci sono comunque altri fattori (virologici, epidemiologici, ambientali/climatici) che contribuiscono al valore di **Ro**, quali:

- il **periodo di incubazione**, intervallo di tempo intercorrente fra il momento dell'infezione e la comparsa dei primi sintomi (non determinabile per gli asintomatici) e durante il quale si può essere più o meno contagiosi (per il SARS-CoV-2 va nella quasi totalità dei casi da 2 a 11 giorni con una media di circa 5 giorni)
- l'**intervallo seriale**, ossia il tempo medio fra la comparsa dei sintomi in un infetto e la comparsa dei sintomi in un suscettibile infettato direttamente dal primo (per il SARS-CoV-2 stimato in circa 7 giorni)
- la **differente infettività** della popolazione interessata, notevolmente variabile a seconda della fascia d'età e di altri fattori non ben noti
- la **temperatura**, l'**umidità** e il grado di **inquinamento atmosferico** (non ci sono opinioni concordi sul grado di influenza di questi fattori ambientali/climatici)

Dovrebbe essere evidente a questo punto che, diversamente da quella che è una credenza piuttosto diffusa, il valore di **Ro** non è correlato esclusivamente al tipo di virus, ma è determinato anche da altri fattori e dipende quindi dal luogo geografico e dalla popolazione nella quale si sta sviluppando l'epidemia. Il valore 2,5 è quello più frequentemente citato nei calcoli epidemiologici sul SARS-CoV-2, ma diverse stime danno per Wuhan valori compresi fra 1,5 e 3; per l'Italia fra 2 e 3,5 (forse per la Lombardia è stato intorno a 4); spesso le stime divergono significativamente a seconda dei metodi di calcolo adottati e dei dati d'ingresso utilizzati.

#### NOTA 1 Stima “intervallare” di **Ro** ed **Rt** (Contenuto più tecnico)

*Senza entrare in dettagli statistici, è opportuno chiarire che **non ha molto senso chiedere (ed è strumentale dare...)** il “valore preciso” di **Ro** in quanto per molti parametri statistici rilevati su campioni è possibile fare solo una “stima intervallare” ossia individuare due valori (min e max) che determinano il cosiddetto “intervallo di confidenza” centrato sulla media dei valori desunti dai dati sperimentali (con tutte le problematiche derivanti da una loro non ottimale raccolta e trasmissione ai centri di analisi) all'interno del quale intervallo c'è un'elevata probabilità che ci sia il “valore vero” (peraltro sconosciuto) del parametro in questione.*

*Tanto per fissare le idee, una stima tipica di **Ro** può essere un'espressione del tipo: “**VM** = 2,6 (IC 95% 1,4-3,8)” che è un modo gergale utilizzato in statistica per dire semplicemente che il Valor Medio di **Ro** sul campione esaminato è pari a 2,6 e c'è il 95% di probabilità che l'intervallo 1,4-3,8 (centrato su 2,6) contenga il vero valore (non noto) di **Ro** (insieme, ovviamente, al 5% di probabilità che sia fuori dall'intervallo, non si sa bene dove, ma comunque non troppo lontano...).*

*Le stesse precisazioni valgono per **Rt** con l'aggravante che varia nel tempo ed è quindi ancora più sfuggente...*

*Dopo di che, sentire pretesi esperti che informano (!) che “nella regione **A**, l'**Rt** è stabile a 0,23 da due giorni e quindi è tutto ok; invece nella regione **B**, l'**Rt** di ieri era 0,34 mentre quello di oggi è 0,42 e quindi la situazione sta peggiorando” conferma che non sanno bene di cosa stiano parlando...*

*Un modo più attendibile di analizzare quest'indice consiste nell'esaminarne l'andamento nell'arco di alcuni giorni per verificare se è presente una tendenza stabile all'aumento o alla diminuzione.*

### 3. SIGNIFICATO DI **Rt**

Per quanto riguarda **Rt** “Numero di Riproduzione Effettivo” esso è definito analogamente ad **Ro** (numero medio di infezioni secondarie etc. etc.), ma con la **sostanziale differenza** che il suo valore risente del fatto, intrinseco a qualunque epidemia, che dopo un certo tempo dal suo inizio, **non tutta la popolazione** è rimasta “Suscettibile” (ossia tutti sono infettabili), ma un numero progressivamente crescente di suscettibili è passato a “**Rimossi**” ossia deceduti o guariti (non più infettabili a condizione che essere guariti dia l'immunità completa, cosa ancora non accertata per il virus in questione). Questo fatto provoca, **per ragioni puramente**

**statistiche**, una diminuzione progressiva del valore di "**R**" dall'**Ro** iniziale all'**Rt** corrente (ma ciò non vuol dire che **Ro** sia diminuito: semplicemente non è più applicabile alla situazione corrente) in quanto il numero medio di "infezioni secondarie" prodotto da ciascun infetto durante il suo periodo di infettività è minore di quello iniziale anche solo per il fatto che, essendo diminuita la % di suscettibili sul totale della popolazione, **a parità di numero di contatti durante il periodo di infettività**, ciascuno ha incontrato in media meno persone **infettabili** (alcune di quelle incontrate erano immuni) e il risultato complessivo è che globalmente se ne sono infettate di meno... dunque **Rt < Ro**.

Se a questa diminuzione intrinseca e progressiva nel tempo si aggiungono misure specifiche di contenimento del rischio di infezione, quali:

1. **mascherine** chirurgiche, **distanziamento e contenimento** dei "droplets" (in ordine crescente di dose potenzialmente infettiva: parlato, cantato, tosse, starnuti) che riducono l'infettività (impatto sul **fattore a**)
2. **riduzione del numero dei contatti** complessivi (impatto sul **fattore b**) diminuendo il numero delle persone incontrate e la frequenza degli incontri, ad es. con l'home working e la rarefazione degli scambi sociali
3. **isolamento degli infetti** (impatto sul **fattore b**) o almeno di tutti quelli riscontrati positivi al tampone, è naturale che **Rt** diminuisca tanto più quanto più sono **incisive** le misure di contenimento adottate.

In conclusione, **Rt** può diminuire:

- **spontaneamente** nel tempo all'aumentare della % di immuni (suscettibili passati a guariti)
- **forzatamente** in seguito alle misure di contenimento sopra elencate

Da quanto sopra dovrebbe essere evidente che l'effetto delle misure di contenimento **non** è del tipo "tutto/niente", ma è funzione della loro intensità: se dimezzo il numero delle persone incontrate avrò una riduzione di **Rt** approssimativamente della metà, se lo dimezzo ancora, **Rt** diminuirà ulteriormente e così via.

E' quindi un errore sostenere che se non fanno "**tutti esattamente come richiesto**" allora "**non serve a nulla**": il criterio empirico è, banalmente, che più persone seguono le regole assegnate e più è improbabile che sorgano focolai di contagio difficili da spegnere.

#### **NOTA 2 "Immunità di gregge"** (Anche questa più tecnica)

*Non adottando alcuna misura di contenimento (i comportamenti delle persone non cambiano) e i fattori virologici, epidemiologici, ambientali e climatici neanche) allora il numero di contatti "efficaci" (ossia con una probabilità non trascurabile di trasmettere l'infezione) varia in modo proporzionale alla % di suscettibili presenti (se è del 50%, il numero si dimezza, se è del 25% diventa 1/4, etc.).*

*Indicando con "**V**" la % di persone immuni perché guarite, la % di suscettibili (espressa in decimali) è  $S = 1 - V$  e quindi  $Rt = Ro \times S = Ro (1 - V)$  da cui  $Rt/Ro = (1 - V)$  e quindi  $V = 1 - Rt/Ro$  il che, **in assenza di restrizioni di qualunque tipo e se il virus non è mutato** (condizioni essenziali perché questi passaggi abbiano un significato concreto) consentirebbe di ricavare approssimativamente la percentuale **V** di immuni attraverso il rapporto fra **Rt** ed **Ro** (ovviamente con tutta l'incertezza complessiva derivante dalle singole incertezze delle stime di **Ro** e di **Rt**).*

*Se assumiamo che **Rt** sia uguale a **1** (il che vuol dire che il contagio si è "stabilizzato": ogni persona ne infetta una nuova come esito del suo "stato infettivo") allora il numero degli "infezioni correnti" rimane costante (si crea un "ricambio" stazionario: per ogni infetto diventato rimosso c'è un suscettibile che, infettato da lui, diventa infetto).*

*In queste condizioni  $V = 1 - 1/Ro$  e, se assumiamo  $Ro = 2,5$ , risulta  $V = 1 - 0,4 = 0,6$  (ossia 60%). Perché l'epidemia diventi "stazionaria" ( $Rt = 1$ ) la % di persone immuni deve essere del 60%.*

*Siccome continuano comunque ad esserci nuovi contagi, sia pure in modo non espansivo, dopo un po' di tempo la % di immuni salirà oltre il 60% con la conseguenza che **Rt** sarà minore di 1 e l'epidemia si smorzerà progressivamente, ma in tempi di norma non brevissimi.*

*E' con questi calcoli che si trova l'altrimenti "misterioso" valore del 60-70% dato a febbraio in UK e DE come % minima di contagiati/guariti (e quindi **probabilmente** immuni) necessaria per ottenere l'immunità di gregge senza imporre alcun lockdown...*

#### 4. INCOMPRESIONE DIFFUSA DEL SIGNIFICATO DI $R_0$ E DI $R_t$

Sembra che la comprensione del reale significato di  $R_0$  e di  $R_t$  presenti difficoltà insormontabili per buona parte di giornalisti, politici, governatori di regione, assessori e personaggi pubblici in generale che continuano da mesi ad affollare i talk show facendo una notevole confusione sia terminologica, il che è marginale, sia concettuale, il che è più grave perché rende difficile rendersi conto di come l'andamento del contagio nel tempo sia concretamente determinato **dall'intensità delle misure** di contenimento attraverso la riduzione dei fattori "**Infettività**" e "**Numero Contatti**".

Un caso esemplare di questa incomprensione è riportato sul sito della Fondazione Gimbe, al seguente link <https://coronavirus.gimbe.org/press/comunicati.it-IT.html> nel quale c'è una interessante critica dell'uso improprio di  $R_t$  che, se avvenuto esattamente come riportato, è assolutamente sconcertante (eufemismo...): "Le Regioni, tra gli emendamenti del Decreto Rilancio, avevano chiesto di escludere dai 21 indici di valutazione della situazione epidemica, il parametro  $R_t$  per misurare la diffusione del virus" (e fin qui si potrebbe perfino essere d'accordo, vista l'intrinseca imprecisione con cui si può stimare  $R_t$ ), ma poi prosegue: "**Sostituendolo con il parametro  $R_0$ , che rappresenta il numero in media di casi secondari di un caso indice**".

Per chiunque abbia letto le righe precedenti penso sia evidente la **stupefacente "non conoscenza"** che ha consentito di scrivere in un documento ufficiale (!) la frase riportata in corsivo: chiedere di sostituire l'indice  $R_t$  che, sia pure molto approssimativamente, dà comunque un'idea della situazione in corso, con l'indice  $R_0$  che non ha più alcuna rilevanza attuale perché si riferisce ad una situazione iniziale superata da mesi dimostra, quanto meno nel caso in esame, lo scollamento fra i criteri decisionali e la realtà su cui dovrebbero basarsi i "decisioni"!

Un altro esempio è l'aver trovato espresso in un articolo di un giornale online (e non fra quelli meno noti...) il seguente assurdo concetto "Quando l'indice  $R_0$  diventa minore di zero, allora l'epidemia è terminata!" A parte il fatto che l'indice  $R_0$  non cambia dal suo valore iniziale (e che se non è  $>1$  non può iniziare alcuna epidemia...), l'indice  $R_t$  **non può** essere "minore di zero" perché vorrebbe dire che il numero totale di **contagiati** diminuisce col tempo, ma è evidente che se uno è stato contagiato non può ritornare "non contagiato", ma diventa "rimosso" (muore o guarisce) ossia esce dal novero degli **infetti correnti**, ma non di quelli **infettati dall'inizio dell'epidemia** che può solo aumentare o azzerarsi...

#### 5. PRECISAZIONI SU UNA RECENTE "GAFFE"

Mi sembra plausibile che una recente "gaffe" di un assessore regionale, **a mio parere eccessivamente stigmatizzata** dai suoi critici, sia derivata dall'aver interpretato  $R_t$  come un indice collegato alla "**dose infettante**" necessaria per innescare l'infezione in un individuo suscettibile da parte di un individuo infetto portatore di una determinata **carica virale**. Se  $R_t$  fosse realmente questo, allora sarebbe possibile immaginare che la presenza contemporanea di un suscettibile e di due persone infette, ciascuna delle quali emette durante l'incontro un po' più di metà della **dose infettante**, lo farebbe passare da **0,51 a 1,02** (superando peraltro la fatidica soglia di espansione dell'epidemia), ma ciò comporterebbe una ridefinizione di  $R_t$  cambiandone la natura perché, come sopra illustrato,  $R_t$  non è un "**indice virologico istantaneo**", ma è invece un "**indice statistico a posteriori**" che risente *anche* della carica virale media degli infetti in un determinato periodo, ma solo **indirettamente** (e con modalità di difficile determinazione). Non è difficile avere chiaro in mente che la "presenza contemporanea di più infetti e di un suscettibile" è **cosa ben diversa** dal "numero dei suscettibili incontrati da un infetto durante il periodo di infettività", ma rendersi conto che, **per come è definito  $R_t$** , esso dipende essenzialmente dalla seconda e non dalla prima non è poi così semplice...

Sarebbe stato comunque opportuno, **prima** di fare in pubblico un **esempio esplicativo** di un argomento non semplicissimo, chiedere a un esperto quanto fosse calzante quello venuto in mente.

Ing. G. Zurlo - 07/06/2020

Publicato da [G. Zurlo](#) a [23:01](#)

Commenti: [8 giugno 2020 11:01](#)

**Giovanni, i miei complimenti per il tuo articolo che ben si destreggia tra gli aspetti di statistica e quelli legati più strettamente al contagio Covid-19. Non ne vedrei male la sua pubblicazione sulla bacheca del CDT, utilizzando le tue credenziali personali di accesso.**

**Grazie, AE**