

# Curve-S: epidemie, innovazioni e fenomeni non- lineari

di Mauro Arpino

ANALOGIE - LEZIONI PER MANAGER



ISTUD Business School



## Curve-S: epidemie, innovazioni e fenomeni non-lineari

*Le sorprendenti conseguenze della non proporzionalità tra causa e effetto*

*La drammatica situazione creata dal virus COVID-19 è nella sostanza un fenomeno di crescita e declino di specie biologiche. E' sorprendente constatare come processi di ambiti completamente differenti seguano lo stesso andamento. Sono tutti fenomeni descritti da una curva a forma di "S", la curva-S. La funzione matematica che produce questa curva è la funzione logistica. Essa ha una lunga storia ed è derivata dalla legge che afferma che il tasso di crescita è proporzionale sia alla quantità di crescita già realizzata sia alla quantità di crescita che rimane da realizzare. Inoltre la crescita che resta da compiere implica un limite, un livello di saturazione, un mercato di dimensioni finite, se si preferisce. Questa ipotesi è una buona approssimazione di molti processi naturali, per esempio la crescita di un individuo umano nel quale l'altezza finale è codificata geneticamente.*

*La funzione logistica è un modello semplificato di crescita della popolazione ma il suo studio dettagliato ha condotto a una più profonda comprensione dei concetti di casualità e prevedibilità. Fu portata all'attenzione dei biologi delle popolazioni in un articolo del 1971 del biologo matematico Robert May sulla prestigiosa rivista Nature, ma raggiunse la fama negli anni '80 quando il fisico Mitchell Feigenbaum la impiegò per dimostrare le proprietà universali di una ampia classe di sistemi. A causa della sua apparente semplicità la funzione logistica è lo strumento perfetto per comprendere i sistemi dinamici caotici cioè con comportamenti imprevedibile.*

**Paper a cura di**

### **Mauro Arpino**



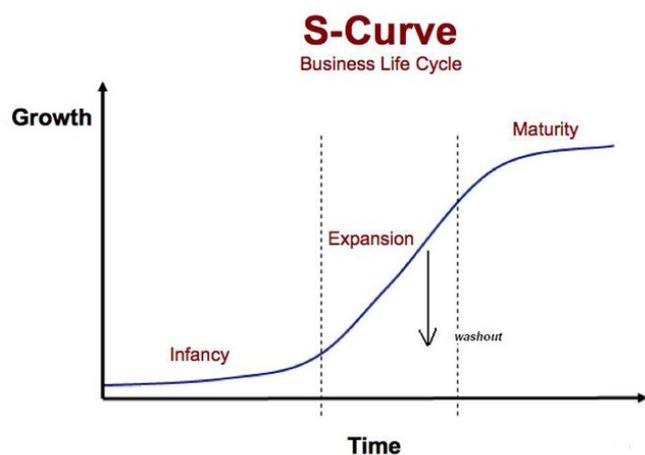
Mauro Arpino è nato nel 1965 e ha compiuto studi in fisica. Ha pubblicato nel 1983, "Giove – Il pianeta le osservazioni", la prima monografia in italiano sull'argomento. Per 19 anni ha svolto attività di conferenziere presso il Civico Planetario di Milano, sia con platee di studenti sia con il pubblico, esponendo decine di conferenze sui più disparati argomenti astronomici. Frutto di questa attività è il testo "Le idee dell'astronomia – Come lo studio del cielo ha cambiato il mondo" del 2010, rilasciato con licenza Creative Commons e liberamente scaricabile online.

## Curve-S: epidemie, innovazioni e fenomeni non-lineari

*Le sorprendenti conseguenze della non proporzionalità tra causa e effetto*

La drammatica situazione creata dal virus COVID-19 è nella sostanza un fenomeno di crescita e declino di specie biologiche. E' sorprendente constatare come processi di ambiti completamente differenti seguano lo stesso andamento. Sono tutti fenomeni descritti da una curva a forma di "S", la curva-S. La funzione matematica che produce questa curva è la funzione logistica. Essa ha una lunga storia ed è derivata dalla legge che afferma che il tasso di crescita è proporzionale sia alla quantità di crescita già realizzata sia alla quantità di crescita che rimane da realizzare. Inoltre la crescita che resta da compiere implica un limite, un livello di saturazione, un mercato di dimensioni finite, se si preferisce. Questa ipotesi è una buona approssimazione di molti processi naturali, per esempio la crescita di un individuo umano nel quale l'altezza finale è codificata geneticamente.

La funzione logistica è un modello semplificato di crescita della popolazione ma il suo studio dettagliato ha condotto a una più profonda comprensione dei concetti di casualità e prevedibilità. Fu portata all'attenzione dei biologi delle popolazioni in un articolo del 1971 del biologo matematico Robert May sulla prestigiosa rivista Nature, ma raggiunse la fama negli anni '80 quando il fisico Mitchell Feigenbaum la impiegò per dimostrare le proprietà universali di una ampia classe di sistemi. A causa della sua apparente semplicità la funzione logistica è lo strumento perfetto per comprendere i sistemi dinamici caotici cioè con comportamenti imprevedibile.



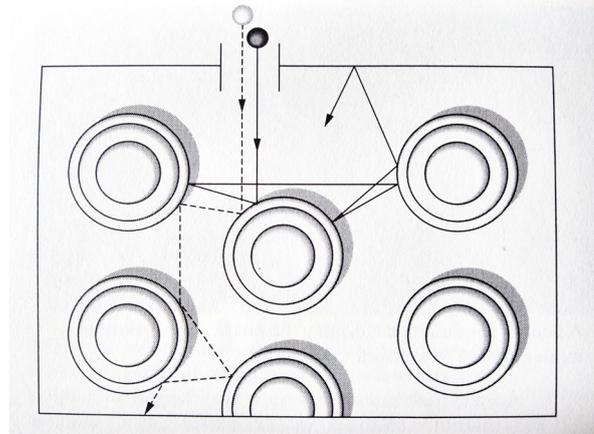
*La curva-S descrive il fenomeno del tutto generale della crescita in ambiente con risorse limitate.*

### Fenomeni non-lineari

Ma le funzioni logistiche di cui fa parte la curva-S sono soltanto un esempio di processi *non-lineari*, ovvero "non proporzionali", quasi sempre intrattabili matematicamente. Un semplice fenomeno lineare è l'estensione di una molla o di un elastico che è proporzionale alla forza con cui si tira. Ma se si tira troppo ecco che entriamo nella regione della non-linearità e l'elastico si rompe. Un altro semplice esempio. Immaginiamo di mangiare dei gelati. Se i primi tre li abbiamo mangiati con gusto, è certo che al quarto faremo indigestione. Non vi è proporzione tra l'input (i gelati) e l'output (il nostro benessere o malessere); si tratta dunque di una situazione non-lineare. Diciamo meglio, fino al terzo gelato c'era proporzione, poi è cambiato tutto esattamente come l'elastico che si rompe se si tira troppo. E' ovvio, no? Eppure in molte situazioni concrete, in molte decisioni che prendiamo, non siamo assolutamente consapevoli

che dietro l'angolo può esserci una *discontinuità*, qualcosa di assolutamente imprevedibile. Imprevedibile, ma non del tutto inaspettato.

È precisamente questa la chiave che apre la porta a una interpretazione più profonda della realtà, e i modelli concettuali che ne traiamo, anche se imperfetti, susciteranno domande del tutto inedite, impensabili altrimenti. I fenomeni meteorologici, il moto dell'acqua in un tubo, la diffusione delle epidemie, le organizzazioni, le crisi cardiache, sono tutti sistemi non-lineari. Una caratteristica peculiare dei sistemi dinamici non lineari è che una minuscola differenza tra due diverse condizioni iniziali conduce a enormi differenze nello stato finale; è la “dipendenza sensibile dai dati iniziali”, nota anche come *effetto farfalla*. E' precisamente questa proprietà alla base della loro imprevedibilità.



*Sensibilità alle condizioni iniziali. In un flipper due palline inizialmente molto vicine hanno traiettorie completamente differenti; un esempio di Effetto Farfalla.*

Ma perché i sistemi non-lineari sono molto più difficili da analizzare di quelli “lineari”, cioè “proporzionali”? Questo accade perché un sistema non lineare *non è la somma delle sue parti* e queste – al contrario – *interferiscono, cooperano o competono* tra loro. Volete un esempio? Mettetevi ad ascoltare contemporaneamente due delle vostre canzoni preferite: il risultato sarà un'orribile cacofonia, non certo il doppio del piacere di ascoltare. Questa è la non linearità. Un processo di *Merger & Acquisition* tra due società è una situazione in cui sicuramente il tutto risulterà differente dalla somma delle parti, ma essendo un evento altamente non lineare e dagli esiti imprevedibili, le non linearità, cioè le interazioni tra le sue componenti, si possono manifestare con fenomeni di interferenza distruttiva e non di cooperazione. Il risultato in questo caso sarà la distruzione di valore.

Dal momento che la realtà che ci circonda è in massima parte descritta da fenomeni più o meno lontani dalla semplice proporzionalità, si comprende come sia indispensabile per il manager abbandonare un paradigma meccanicistico-lineare per avere invece una comprensione delle trappole non lineari di cui è disseminata la realtà. Ma attenzione, non dobbiamo aspettarci che i fenomeni imprevedibili, perché non lineari, abbiano necessariamente delle cause complicate. La funzione logistica che dà origine alla curva-S è infatti una legge semplice. Trova applicazione in medicina come descrizione della crescita di tumori e per la diffusione di epidemie. Si può verificare la sua validità con fenomeni sociologici: i *rumors* o le *mode* si spargono seguendo questa legge, in maniera detta appunto “virale”.



*Le mode, i rumors, le insurrezioni sono fenomeni altamente non lineari.*

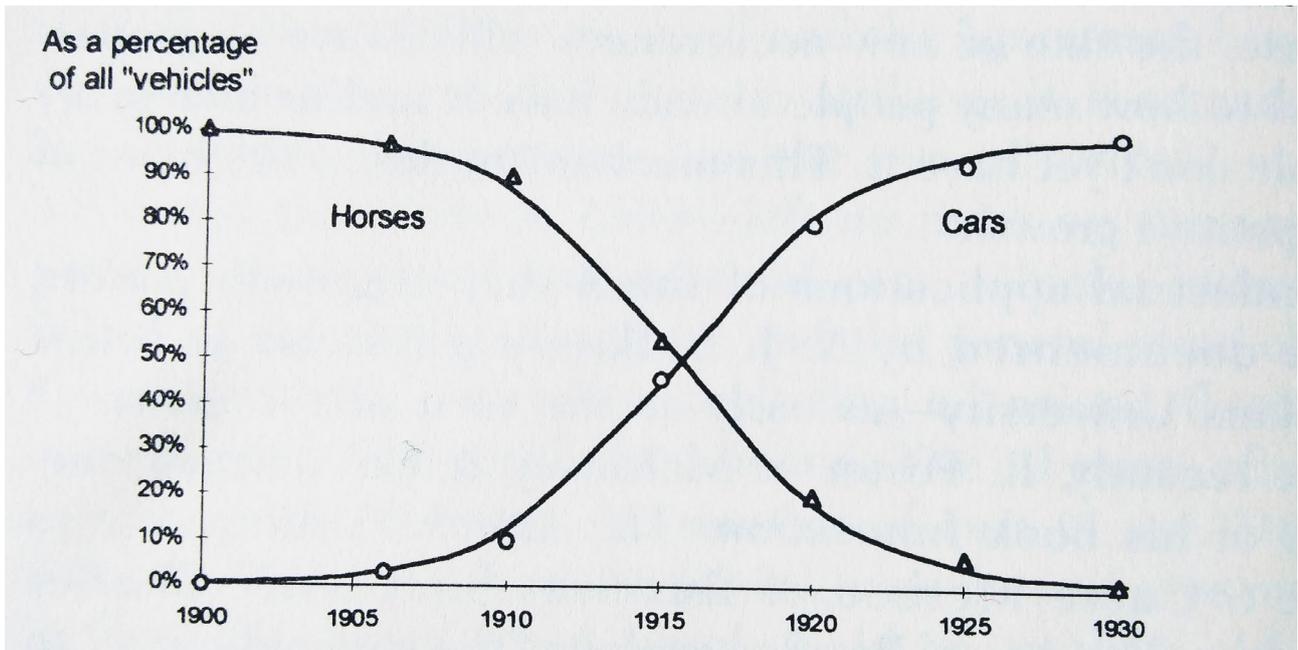
Che siano idee, voci che corrono, tecnologie, o virus, il tasso di nuovi casi sarà sempre proporzionale a quanti individui lo abbiano adottato e quanti non lo abbiano ancora fatto. L'analogia è stata spinta fino a includere la crescita competitiva di popolazioni inanimate, come la vendita di nuovi prodotti di successo. In una prima fase le vendite crescono in proporzione al numero di unità vendute. Al diffondersi della notizia, ciascuna unità

venduta porta ulteriori nuovi acquirenti: le vendite crescono esponenzialmente. E' questa prima crescita esponenziale che dà origine alla

prima parte della curva-S. Il business va a gonfie vele, la crescita è con la stessa percentuale ogni anno e i pianificatori avventati preparano i loro budget su queste rosee indicazioni. La crescita, tuttavia non può continuare a essere esponenziale ma segue la curva-S; è proporzionale alla quantità di nicchia di mercato ancora non riempita. Con il riempimento di questa nicchia, la crescita rallenta e si entra nella seconda parte della curva, quella dell'appiattimento. Alla fine si raggiunge la crescita zero.

Come esempio di sistema del tutto peculiare che ha questo andamento consideriamo la rete ferroviaria degli Stati Uniti. Si comporterà secondo il modello di crescita naturale delle popolazioni? E le sue dimensioni finali, sono prevedibili? La risposta fu data nel 1925 da Alfred J. Lotka che presentò in un suo libro *Element of Physical Biology*, un grafico sull'estensione totale della rete ferroviaria dalla sua origine fino al 1918 quando raggiunse i 280.000 km. Sovrappose i dati ad una curva-S teorica che passasse molto vicino a tutti i punti e mostrò una saturazione del 93% della "nicchia" della rete ferroviaria con un limite di 300.000 km. Dal 1918 furono distesi circa 10.000 km ulteriori che confermarono la previsione dello scienziato. La convalida della sua previsione è tanto più impressionante se si pensa che negli anni '20 del secolo scorso il trasporto ferroviario era ampiamente considerato come un'industria giovane con un futuro promettente su cui senz'altro investire.

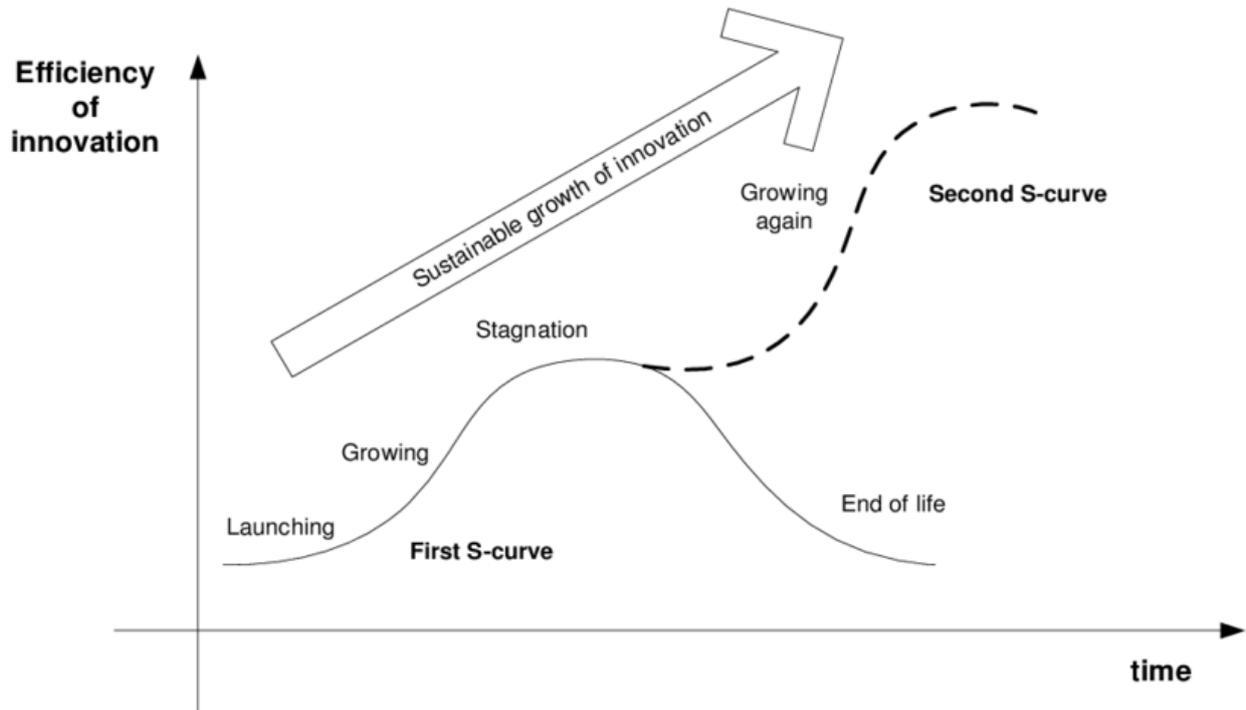
Per sottolineare l'analogia, Lotka incluse nel suo lavoro un grafico sulla crescita di una pianta di girasole, un tipico caso di organismo multicellulare che cresce seguendo la curva-S logistica. La pianta di girasole raggiunge la sua massima dimensione in 84 giorni, mentre la rete ferroviaria USA raggiunse la maturità in 150 anni. E' sorprendente come qualcosa di inanimato come il prodotto in acciaio opera dell'uomo sia cresciuto e si sia stabilizzato nella maniera tipica degli organismi viventi. Evidentemente siamo di fronte ad una legge di natura profonda di validità del tutto universale. Analogamente si può osservare che la costruzione delle cattedrali gotiche ha seguito un andamento descritto da una funzione logistica, ovvero da una curva-S.



Due "specie" si contendono la nicchia del trasporto: la tecnologia della trazione a cavallo e le automobili, entrambe descritte da curve-S.

## Limiti e innovazione

Possiamo trarre da questo esempio delle ferrovie alcune lezioni. La prima è senz'altro la necessità di riconoscere l'esistenza di un *limite*, cioè di un livello di saturazione. Ciò che è nascosto sotto l'elegante forma della curva-S è il fatto che la curva di crescita naturale obbedisce a una stringente legge che è fondata sull'esistenza di un limite finale: la quantità di crescita che rimane da realizzare. Nella realtà del business, i limiti determinano quali tecnologie, quali macchine e quali processi stanno per diventare obsoleti. Essi costituiscono la ragione per cui i prodotti alla fine cessano di portare profitti alle aziende. L'abilità del management di riconoscere i limiti è cruciale per determinare se avranno successo oppure falliranno, perché i limiti sono il miglior indizio che essi hanno per rendersi conto di quando è giunto il momento di sviluppare una innovazione. Se ci si trova in prossimità del limite non ha importanza quanto ci si impegni, ma non sarà possibile ottenere significativi miglioramenti. All'avvicinarsi del limite i costi per fare qualche progresso accelerano sensibilmente. Tuttavia conoscere il limite è cruciale per una azienda se vuole anticipare il cambiamento o per lo meno cessare di gettare soldi in qualcosa che non può essere migliorato.



Curve-S e innovazione

La curva-S può quindi essere letta come la relazione esistente tra lo sforzo immesso per migliorare un prodotto o processo e il risultato ricavato per questo investimento. Inizialmente quando i fondi sono investiti nello sviluppo di un nuovo prodotto o processo, i progressi sono molto lenti. Successivamente, superato un punto critico, si innesca una esplosiva fase in cui si raccolgono frutti a profusione. Infine, nonostante sempre più risorse siano investite nello sviluppo del prodotto o del processo, diventa sempre più difficoltoso e oneroso ottenere progressi tecnici. Le navi non navigano più veloci, i registratori di cassa non funzionano meglio, il bucato non diventa molto più pulito. Questo accade a causa del limite al di sopra della curva-S. E' giunto il momento di tirare fuori dal cassetto un'innovazione e saltare su una nuova curva-S. Ciò spiega anche l'elevato grado di insuccesso delle *startup* nel superare la fase iniziale. Il prodotto di successo che fa presagire per esse un luminoso futuro percorre la sua curva-S, ma giunge il momento in cui deve essere sostituito con un'innovazione che faccia ripartire l'azienda su una nuova curva. Se ci riesce non sarà più una *startup*, e si consoliderà, altrimenti ci sarà il declino.

Dietro al sapere convenzionale secondo cui più sforzi vengono profusi, più progressi ci saranno nei risultati, c'è un implicito assunto pericolosamente "lineare" o "proporzionale" se preferite. Ma questo è vero solamente nella prima metà di una curva-S. Nella successiva metà è totalmente errato. E' questa una situazione che mostra in maniera lampante quanto possa essere rischioso avere una percezione *lineare* della realtà.

Raramente un'unica tecnologia intercetta le necessità degli acquirenti. Più spesso ci sono varie tecnologie sempre in competizione ciascuna con la sua curva-S che gareggiano per sostituire le

tecnologie obsolete in un segmento di mercato. C'è una promessa implicita in un processo di crescita naturale che è garantita dalla natura: la crescita non si arresterà a metà strada. Questo consente di fare delle ragionevoli previsioni. Se la prima metà del processo descritto dalla curva-S è data allora è possibile prevedere il futuro, se invece osserviamo la seconda parte, possiamo dedurre il passato.

Così come non si può immaginare di progettare un motore a combustione interna oppure un frigorifero prescindendo dalle leggi della termodinamica, così nel gestire la realtà e prendere efficaci decisioni è necessario tenere conto della sua natura non-lineare. La differenza tra le due situazioni è che le leggi della termodinamica sono ben conosciute e perfettamente applicabili, mentre degli aspetti non lineari possiamo avere solo una vaga percezione intuitiva. Quel che si può fare è di adottare alcune regole di buon senso per istituire procedure anti-caotiche al fine di favorire la stabilità, ovvero delle *euristiche*.

## Conclusione

Le non linearità aiutano a spiegare perché non ci sono vantaggi statici e perché i singoli prodotti perdono la posizione competitiva più velocemente di quanto ci si aspetterebbe e perché piccoli competitori spesso hanno un vantaggio sui grandi. Esse permettono di giustificare l'idea intuitiva che c'è sempre una chance, cioè che una causa piccola può avere effetti enormi. La realtà è duttile e il futuro non è contenuto in modo deterministico nel presente. Esistono pertanto vere e proprie *strategie degli svantaggiati*, che in questa sede non è possibile approfondire. Le dinamiche non lineari spiegano perché si può agire con un enorme effetto leva, generando risultati non proporzionali rispetto all'azione. Inoculare un vaccino per "istruire" il sistema immunitario è precisamente adottare questa strategia.

Mentre il mistero del cambiamento in molte situazioni reali continuerà a sfidare la comprensione, la nozione di relazione non lineare offre una struttura concettuale per giungere alla consapevolezza che vanno messi nel conto mutamenti improvvisi e irreversibili, ed è necessario prepararsi ad essi. Si tratta di compiere una vera e propria ristrutturazione delle nostre categorie concettuali e considerare gli eventi imprevisti non come qualcosa di esterno alla realtà che ci circonda (o meglio all'immagine che ce ne facciamo), ma come *intrinseci* alla sua natura non lineare e quindi elementi a pieno diritto del mondo attorno a noi.

Nicchie di mercato, organizzazioni, perfino nazioni, possono essere percorsi da fenomeni inaspettati dove una causa piccola quanto si voglia può innescare enormi mutamenti. Come una manciata di insignificanti virus.

