

## **Modello di Simulazione ad Agenti applicato ai comportamenti sociali determinanti la dinamica di pandemie - Parte 2 (27 aprile 2020)**

Autori dello studio:

Federico Cecconi - CSO QBT Sagl

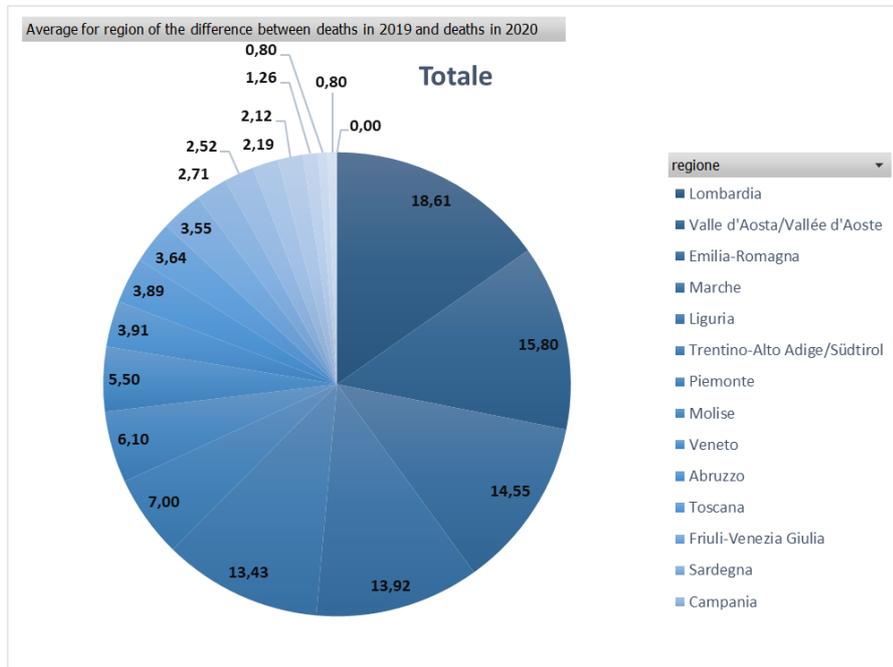
Alessandro Barazzetti – Head of R&D, QBT sagl – Professor in Data analysis and advanced forecasting techniques, UCM Higher Education Institution Malta and Swiss Campus – Gen. Dir. Science Adventure Sagl Switzerland

### **Introduzione**

Abbiamo realizzato un modello basato su agenti artificiali che descrive alcuni aspetti della dinamica di diffusione del COVID-19, in particolare gli aspetti legati al legame tra comportamenti sociali e dinamica di contagio. Partendo dalla prima parte di questo articolo[1], pubblicata il 2 aprile, abbiamo indagato come sia possibile collegare una particolare tipologia di attitudine socio culturale ad alcuni effetti sulla letalità dell'epidemia. Come dato di partenza mostriamo l'effetto che l'epidemia ha avuto in termini di differenza tra il numero di deceduti nel primo trimestre del 2019 e il primo trimestre 2020, in 1.698 comuni italiani [2]. Una volta stabilito come l'incidenza del virus sia stata molto irregolare, ipotizziamo, tramite il modello simulativo descritto nella precedente pubblicazione [1] opportunamente rivisto, che una delle cause possano essere alcuni comportamenti sociali.

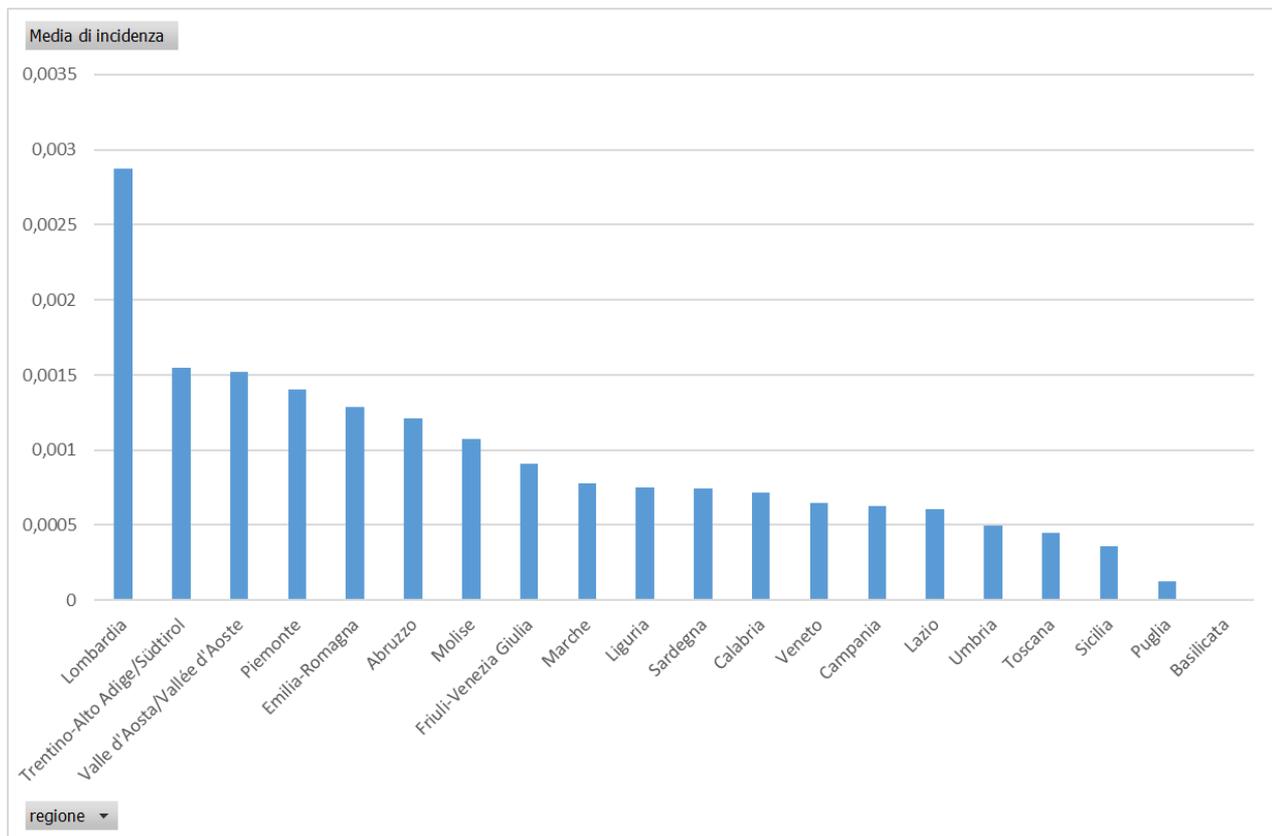
### **La pandemia in Italia**

L'infezione da Coronavirus si è diffusa in Italia presentando evidenti anomalie di distribuzione di contagiati nel territorio. Abbiamo dei dati che ci mostrano questa evidenza, a partire dal differente numero di persone decedute nel 2019 e nel 2020, nelle diverse regioni d'Italia (campione di 1868 comuni, Figura 1)



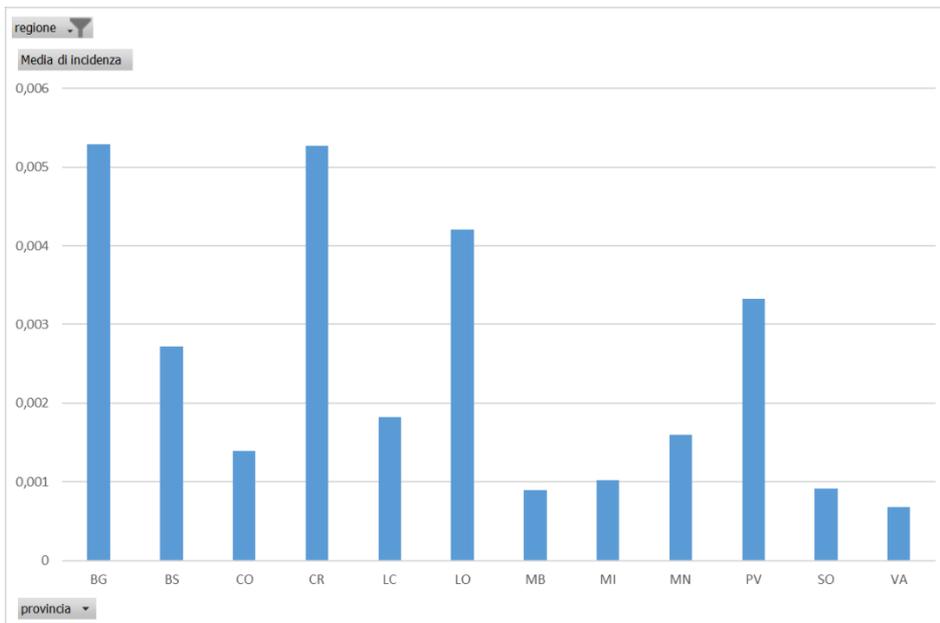
**Figura 1** Media per ciascun comune della differenza di persone decedute (per qualsiasi motivo e in tutte le fasce di età), divisa per regione. Si nota come la Lombardia abbia avuto un incremento di poco più di 18 persone decedute in media per comune, contro ad esempio le 0,8 dell'Umbria.

Per avere un quadro realmente comparabile su base geografica, possiamo dividere questa differenza per il numero di abitanti di ciascun comune, ottenendo così una misura proporzionale al numero di persone esposte, l'**incidenza** (Figura 2).



**Figura 2** Incidenza dell'epidemia regione per regione. L'incidenza è la differenza del numero di persone decedute diviso il numero di abitanti di ciascun comune. Si nota come ci sia una differenza sensibile tra Lombardia e resto d'Italia, ed in generale ci sia un'incidenza maggiore al nord.

L'incidenza misurata in Lombardia presenta una distribuzione ugualmente non uniforme, valutata comune per comune, riassunta per Provincia (Figura 3)



**Figura 3 Incidenza in Lombardia Provincia**

## Obiettivi da raggiungere

L'obiettivo che ci prefiggiamo di raggiungere è determinare i motivi per cui abbiamo assistito a una così rapida e estesa diffusione del virus in Lombardia rispetto ad altre regioni [3]. In particolare riteniamo che esistano essenzialmente ragioni di tipo comportamentali e di struttura sociale. Per fare questo utilizzeremo un modello ABM[1], di seguito descritto, che verrà applicato alle diverse realtà territoriali. Abbiamo utilizzato probabilità ricavate dallo studio della diffusione di Covid19 e da considerazione socio-demografiche [2].

## Descrizione del nostro modello

Abbiamo preso in considerazione una popolazione formata da 1.500 agenti divisi per fascia di anzianità, sesso e appartenenza a tre gruppi sociali distinti: "gruppo sociale famiglia", "gruppo sociale lavoro" e "gruppo sociale tempo libero". La distribuzione è stata normalizzata attingendo ai dati ISTAT [2] I gruppi vengono popolati dinamicamente ad ogni simulazione secondo parametri di composizione. Nel gruppo sociale famiglia vengono simulate le famiglie secondo fasce di età e numero di componenti: vengono naturalmente simulate anche famiglie composte da un solo agente, avendo quindi coperto le casistiche sociali delle persone anziane sole e dei single. Nel gruppo sociale lavoro troviamo i lavoratori di singole aziende secondo la specifica per cui aumentando il numero di agenti all'interno del gruppo sociale lavoro diminuisce il numero di addetti quindi si va verso un modello di piccola e media impresa. Analogamente nel gruppo sociale tempo libero all'aumentare del numero di gruppi tempo libero diminuisce il numero di partecipanti (al limite se il gruppo tempo libero aumenta considerevolmente siamo nell'ipotesi che ogni agente compie attività in autonomia *ie* tutti fanno jogging, al contrario se diminuisce il numero di gruppi tempo libero vuol dire che un numero ampio di agenti si reca in palestra). La simulazione avviene nell'arco delle 24 ore giornaliere in cui vengono simulate le interazioni sociali degli agenti e dei gruppi di agenti per un totale di 1200 ore pari a 50 giorni.

Abbiamo quindi descritto le modalità di diffusione della malattia attraverso interazioni sociali utilizzando i dati ad oggi disponibili [3] attribuendo per ogni agente in base allo stato in cui si trova (infetto, ammalato, deceduto o guarito) al gruppo di appartenenza (o nessun gruppo), alla fascia di età e ad un orario ben preciso, con che probabilità cambi di stato secondo la sequenza predeterminata utilizzata nel modello SIR [4]. Il modello è stato sviluppato utilizzando R: i file di input dei dati sono in formato csv mentre i parametri di composizione della popolazione sono inseriti nel codice.

## Schema della simulazione

Il modello è basato su matrici che descrivono le probabilità di transitare da uno stato all'altro: le matrici descrivono (1) la probabilità che l'agente  $i$  ha di modificare lo stato di un agente  $j$ , modificando il suo stato, (2) la probabilità che un agente  $i$  ha di passare in uno dei seguenti stati: Malato, Guarito, Deceduto.

Ad esempio, la tabella (a) descrive le probabilità di transito dalla condizione Suscettibile alla condizione Contagiato per un individuo  $j$  che appartenga allo stesso gruppo lavorativo dell'agente  $i$ ,

scelto casualmente nella popolazione. Le tabelle (b) e (c) rispettivamente: le probabilità di passare dallo stato Contagiato agli stati Malato, Guarito, Deceduto per le varie classi di età; le probabilità di modificare lo stato di un agente, ignorando i gruppi di appartenenza<sup>1</sup>

- Agente  $i$  è Contagiato
- Il gruppo che collega  $i$  con  $j$  è il gruppo Lavoro
- L'effetto che si può avere su  $j$  con probabilità  $p$  è:  $j$  diventa Contagiato
- Le età sono divise in classi: 1 vuol dire fino ai 18 anni, 2 dai 19 ai 35 anni, 3 dai 35 ai 65 anni, 4 dai 65 ai 75 anni, 5 sopra i 75 anni.

| $p$        | Età di $j$ |        |        |        |        |
|------------|------------|--------|--------|--------|--------|
|            | 1          | 2      | 3      | 4      | 5      |
| Età di $i$ |            |        |        |        |        |
| 1          |            | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| 2          | 0,0001     | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,0001 |
| 3          | 0,0001     | 0,001  | 0,05   | 0,05   | 0,001  |
| 4          | 0,0001     | 0,001  | 0,05   | 0,001  | 0,0001 |
| 5          | 0,0001     | 0,0001 | 0,001  | 0,0001 | 0,0001 |

**Tabella (a).** Tabella di transizione, per ogni classe di età, per l'agente  $j$ , da Suscettibile a Contagiato, incontrando un agente Contagiato, all'interno del gruppo Lavoro

- Agente  $i$  è Contagiato
- Il gruppo che collega  $i$  con  $j$  è il gruppo Lavoro
- L'effetto che si può avere su  $j$  con probabilità  $p$  è:  $j$  diventa Contagiato
- Le età sono divise in classi: 1 vuol dire fino ai 18 anni, 2 dai 19 ai 35 anni, 3 dai 35 ai 65 anni, 4 dai 65 ai 75 anni, 5 sopra i 75 anni.

| $p$        |         |          |
|------------|---------|----------|
|            | Guarito | Deceduto |
| Età di $i$ |         |          |
| 1          | 0,95    | 0,0001   |
| 2          | 0,85    | 0,0001   |
| 3          | 0,75    | 0,005    |
| 4          | 0,4     | 0,05     |
| 5          | 0,3     | 0,05     |

**Tabella (b).** Tabella di transizione, per l'agente  $i$ , di modificare il suo stato Da Ammalato a Guarito o Deceduto

<sup>1</sup> Per le fasce di età e la descrizione dei gruppi si veda [1]

- Agente  $i$  è Contagiato
- Non c'è un gruppo che collega  $i$  con  $j$
- L'effetto che si può avere su  $j$  con probabilità  $p$  è:  $j$  diventa Contagiato

| $p$<br>Età di $i$ | Qualsiasi età |
|-------------------|---------------|
| 1                 | 0,005         |
| 2                 | 0,005         |
| 3                 | 0,005         |
| 4                 | 0,001         |
| 5                 | 0,001         |

**Tabella (c).** Tabella di transizione per l'agente  $j$ , da Suscettibile a Contagiato, incontrando un agente Contagiato

## Risultati

Abbiamo utilizzato un modello sperimentale dove modificavamo le probabilità di contagiare agenti nello stesso gruppo lavorativo, in questo modo

### Lavoro

Condizione base. Gruppo lavoro

| $p$        | Età di $j$ |        |        |        |        |
|------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Età di $i$ | 1          | 2      | 3      | 4      | 5      |
| 1          |            | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| 2          | 0,0001     | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,0001 |
| 3          | 0,0001     | 0,001  | 0,05   | 0,05   | 0,001  |
| 4          | 0,0001     | 0,001  | 0,05   | 0,001  | 0,0001 |
| 5          | 0,0001     | 0,0001 | 0,001  | 0,0001 | 0,0001 |

Condizione NoLavoro. Gruppo lavoro

| $p$        | Età di $j$ |        |        |   |   |
|------------|------------|--------|--------|---|---|
| Età di $i$ | 1          | 2      | 3      | 4 | 5 |
| 1          |            | 0,0001 | 0,0001 | 0 | 0 |
| 2          | 0,0001     | 0,0001 | 0,001  | 0 | 0 |
| 3          | 0,0001     | 0,001  | 0,05   | 0 | 0 |
| 4          | 0          | 0      | 0      | 0 | 0 |
| 5          | 0          | 0      | 0      | 0 | 0 |

### Tempo libero

Condizione base. Gruppo tempo libero

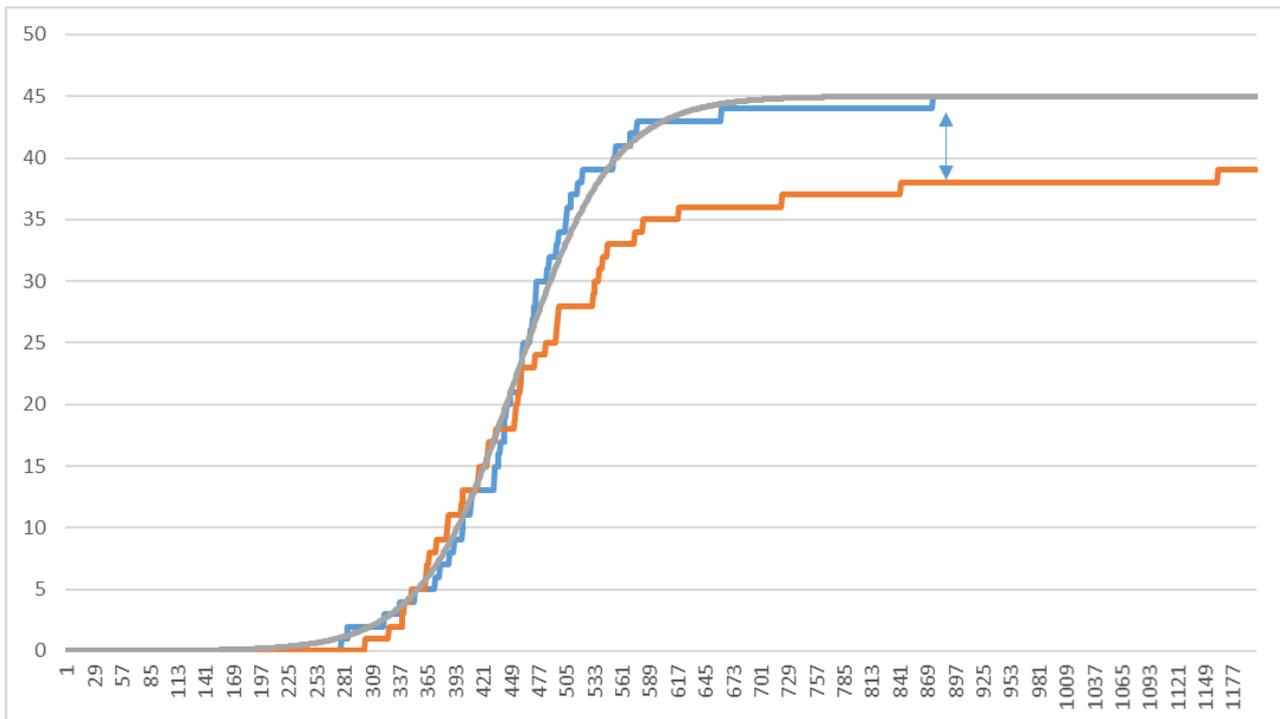
| $p$        | Età di $j$ |        |       |       |        |
|------------|------------|--------|-------|-------|--------|
| Età di $i$ | 1          | 2      | 3     | 4     | 5      |
| 1          | 0,001      | 0,0001 | 0,001 | 0,001 | 0,0001 |
| 2          | 0,0001     | 0,01   | 0,05  | 0,001 | 0,001  |
| 3          | 0,001      | 0,05   | 0,05  | 0,05  | 0,001  |
| 4          | 0,001      | 0,001  | 0,05  | 0,001 | 0,001  |
| 5          | 0,0001     | 0,001  | 0,001 | 0,001 | 0,0001 |

Condizione NoTempoLibero. Gruppo tempo libero

| $p$        | Età di $j$ |        |       |   |   |
|------------|------------|--------|-------|---|---|
| Età di $i$ | 1          | 2      | 3     | 4 | 5 |
| 1          | 0,001      | 0,0001 | 0,001 | 0 | 0 |
| 2          | 0,0001     | 0,01   | 0,05  | 0 | 0 |
| 3          | 0,001      | 0,01   | 0,05  | 0 | 0 |
| 4          | 0          | 0      | 0     | 0 | 0 |
| 5          | 0          | 0      | 0     | 0 | 0 |

La simulazione passa dalle tabelle base alle tabelle NoLavoro, NoTempoLibero in modo continuo, trasformando le celle indicate in giallo dai valori iniziali a zero. Man mano che queste probabilità diminuiscono, il simulatore aumenta in modo proporzionale le probabilità sulle stesse classi di età che non coinvolgono il lavoro e il tempo libero.

I risultati sono riassunti da Figura 4 e da Figura 5



**Figura 4 Numero dei deceduti nella condizione base (blu) e nella condizione con nessuna probabilità di contagio nei gruppi lavoro e tempo libero (arancione). La curva grigia rappresenta la funzione che descrive l'andamento del numero dei deceduti nel tempo.**

La figura Figura 4 mostra l'effetto della diminuzione delle probabilità di contagio nei contesti lavorativi e di tempo libero per le classi riferite alle persone anziane. Abbiamo messo a confronto due situazioni socio culturali: Base (blu) per il nord dell'Italia, con probabilità di impiego maggiori e mantenimento nel tessuto produttivo delle persone anziane, con la tipica strutturazione socio culturale delle regioni del nord, dove gli anziani continuano ad avere relazioni tra di loro durante il tempo libero; NoLavoro, NoTempoLibero, (arancione) con nessuna di queste due interazioni attive. Utilizzando i dati ricavati dalla curva Base abbiamo definito la funzione che descrive la dinamica, che come ci aspettavamo è una curva logistica (grigio). Abbiamo eseguito una serie di simulazioni, partendo dalla condizione NoLavoro, NoTempoLibero ed abbiamo calcolato la distanza tra numero di decessi al termine della dinamica e numero di decessi previsti dalla curva logistica (freccia blu).

I risultati sono molto chiari: man mano che ci si sposta dalla condizione NoLavoro, NoTempoLibero verso la condizione Base, il numero di decessi aumenta, indicando così che almeno uno dei fattori

che spiegano l'incidenza diversa di Covid19 nel nord dell'Italia rispetto al resto della nazione, è riconducibile a comportamenti e strutture socio culturali tipiche del nord del paese, e solo di esse.

È da notare come le differenze in termini di decessi derivano da differenze nella dinamica dei contagi molto lievi (Figura 5): è la tipologia stessa del virus, rappresentata dalle matrici di transizione, che spiega l'amplificarsi di differenze apparentemente minime.

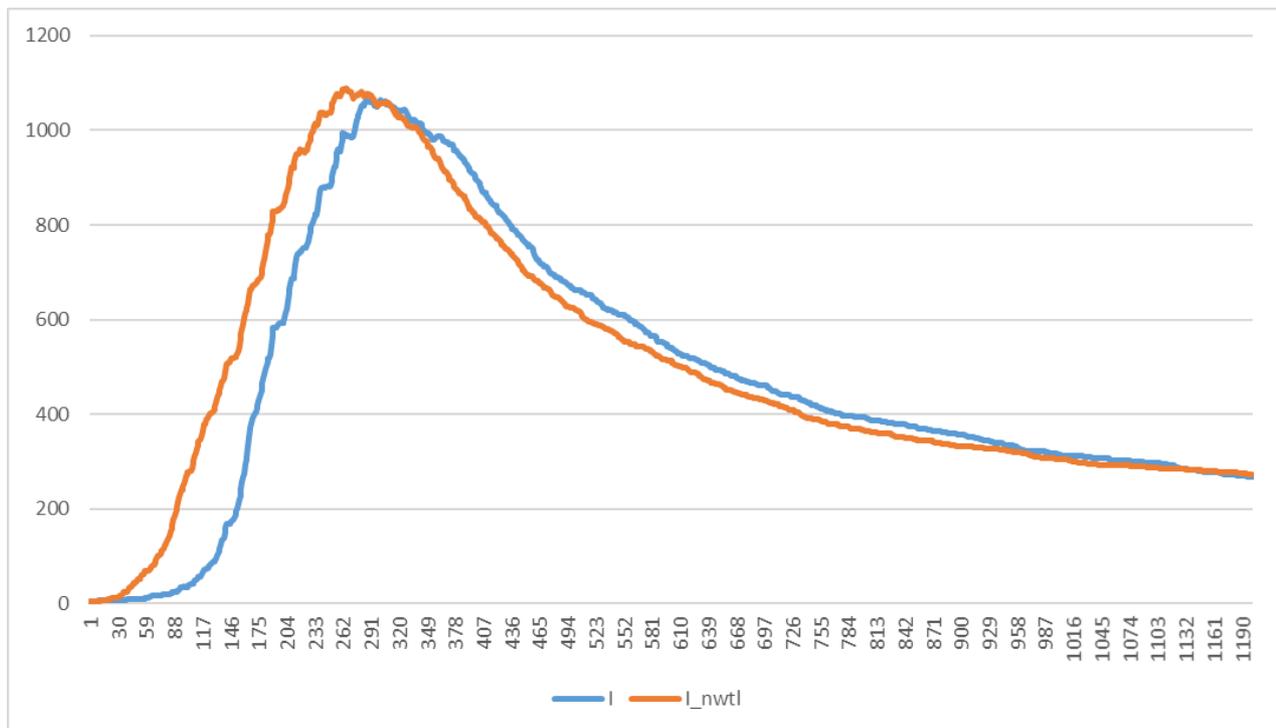


Figura 5 Dinamica dei contagi condizione base (blu) e noWorknoTL (arancione)

### Prossimi approfondimenti

Il prossimo lavoro sarà un lavoro che oltre a cercare evidenze di tipo comportamentale, descriverà la struttura topologica dei comuni coinvolti nel calcolo dell'incidenza, cercando di incrociare dati legati alla numerosità e distanza tra comuni, con indicazioni sulla presenza o meno di pendolarismo, e su quali direzioni.

L'idea è ancora quella di cercare evidenze che conducano a spiegazioni della differenza tra incidenza che facciano riferimento a strutture economico/sociali.

### Bibliografia

- [1]. UCM, Modello di Simulazione ad Agenti applicato ai comportamenti sociali determinanti la dinamica di pandemie (2 aprile 2020)
- [2] ISTAT istituto Nazionale di Statistica [www.istat.it](http://www.istat.it)
- [3] Ministero della Salute [www.salute.gov.it](http://www.salute.gov.it); Worldmeters.info <https://worldmeters.info>
- [4] Hethcote H (2000). "The Mathematics of Infectious Diseases". SIAM Review. 42 (4): 599–653. Bibcode:2000 SIAMR..42..599H. doi:10.1137/s0036144500371907