



IDENTITIES

Enlightening
Interdisciplinarity
in STEM for Teaching

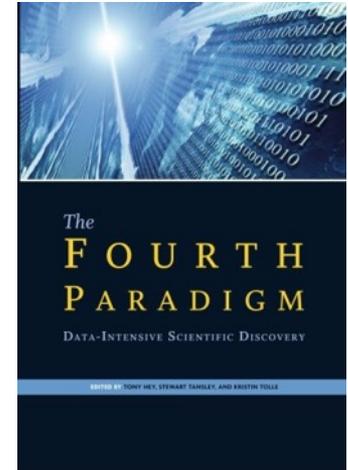
Le simulazioni computazionali come
strumenti interdisciplinari di
decisione: risultati di un'indagine con
studenti universitari

Eleonora Barelli, Olivia Levrini
Università di Bologna
Dipartimento di Fisica e Astronomia

17 settembre 2020 - Congresso SIF

Le simulazioni come strumenti scientifici

- L'utilizzo di approcci computazionali sta cambiando il modo di fare scienza e di condurre la ricerca
- Un nuovo paradigma: «data intensive scientific discovery» (Hey, Tansley & Tolle, 2009)
- Le simulazioni computazionali sono parte integrante di questa rivoluzione
 - **Metodologica** – «A significant and permanent addition to the methods of science» (Humphreys, 2004), «the use of simulations being comparable to the introduction of the microscope and the telescope» (Greca, Soane & Arriassecq, 2015)
 - **Epistemologica** – «a new way to produce knowledge about the world» (Galison, 1996), «to question nature and to formulate possible explanations» (Grune-Yanoff & Weirich, 2010)
- Ruolo predominante in fisica e in particolare nei campi che si occupano di sistemi complessi



Le simulazioni tra scienza e società

- L'impatto delle simulazioni non tocca solo il mondo degli accademici e dei professionisti
- Le simulazioni hanno raggiunto la sfera **sociale**
- Il cambiamento climatico e la pandemia COVID-19 sono due contesti che stanno dimostrando la rilevanza delle simulazioni per trattare tematiche sociali e **prendere decisioni** sui comportamenti da adottare e le politiche da mettere in atto ([Adam, 2020](#))
- Il COVID-19 ha mostrato dinamiche che già erano in atto nella comunità scientifica ([Vespignani, 2019](#)) ma per la prima volta nella storia recente il dibattito è stato pubblico e in tempo reale: si è vista la scienza nel suo farsi e le decisioni politiche prendere forma
- Termini come simulazioni, modelli e scenari sono diventati parte del vocabolario *pop*

Le simulazioni computazionali come strumenti interdisciplinari di decisione

Introduzione

Coronavirus. Davvero serve una chiusura totale? Una simulazione pubblicata dal Washington Post dice di no. Siamo noi l'unica medicina

Coronavirus, le simulazioni dei modelli che hanno guidato i Governi nella lotta alla pandemia sono davvero affidabili?

Coronavirus, quando finirà? La lezione (possibile) di un'oscura «influenza russa»

**CORONAVIRUS: è uno SHOCK!
Ecco le CURVE di PREVISIONE
MATEMATICA ad 1 mese con
CONTAGI, PICCO, Guariti, MORTI**

**Corsa al vaccino anti
Covid-19: modelli e
simulazioni per ridurre i
tempi dalla ricerca in
laboratorio alla
disponibilità per tutti**

**COVID-19: prevedere l'effetto sulle
imprese con il modello For-ST**

Oltre la rilevanza delle simulazioni: il divario tra scienza e società

- Le simulazioni nella didattica vengono utilizzate principalmente come laboratori virtuali per affiancare o sostituire le esperienze di laboratorio (es. PhET)
- Gli aspetti metodologici, epistemologici tipici delle simulazioni e le loro conseguenze sociali non vengono spesso affrontati (Greca, Seoane & Arriasecq, 2015)
 1. Si sta allargando il divario tra le conoscenze esperte riguardo le simulazioni e le conoscenze possedute da decisori politici, cittadini e studenti (Jacobson & Wilensky, 2006)
 2. Si diffondono atteggiamenti di sfiducia nelle simulazioni e nei loro risultati (Barelli, Branchetti, Tasquier, Albertazzi & Levrini, 2018)

Conseguenze

Come può l'educazione scientifica guidare gli studenti a riconoscere le simulazioni come autentici strumenti scientifici grazie ai quali sviluppare competenze di azione e di decisione?

Lo studio

- Studio condotto a Marzo-Aprile 2020, interamente online (Microsoft Teams)
- 50 partecipanti: studenti magistrali in fisica e matematica iscritti al corso di Didattica della Fisica (prof.ssa Olivia Levrini) presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna
- Modulo di insegnamento di 6 ore sul tema delle simulazioni
- Ideato a partire da 8 interviste individuali a studenti volontari del corso riguardo il ruolo delle simulazioni per modellizzare, capire e spiegare fenomeni sociali
- Intervista individuale → attività di gruppo di cui gli intervistati erano facilitatori

Il modulo



Lezione sul
modello di
diffusione di un
virus



Attività di
gruppo di analisi
di una
simulazione sulla
dinamica di
opinione



Gioco di ruolo
per analizzare
una simulazione
sulla formazione
di gruppi
terroristici



Lezione sul
modello di
diffusione di un
virus



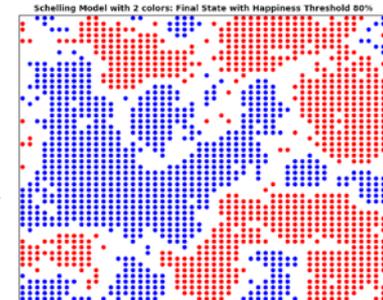
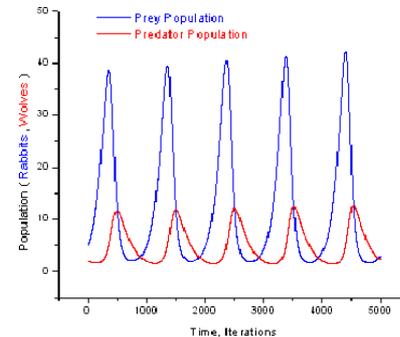
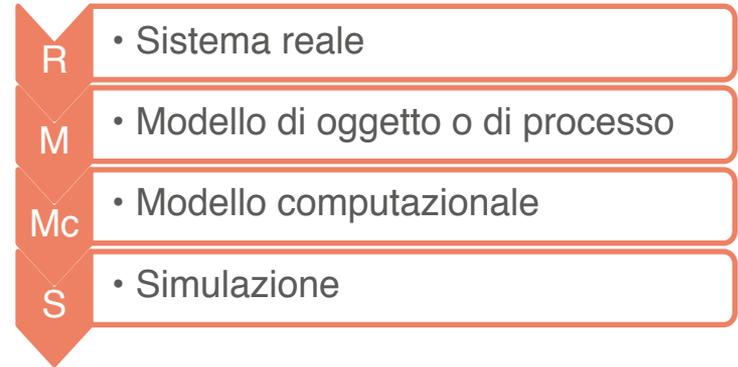
Attività di
gruppo di analisi
di una
simulazione sulla
dinamica di
opinione



Gioco di ruolo
per analizzare
una simulazione
sulla formazione
di gruppi
terroristici

1) LEZIONE SUL MODELLO DI DIFFUSIONE DI UN VIRUS

- Introduzione all'uso delle simulazioni nella ricerca scientifica e nella didattica
- Definizione di simulazione, sottolineando i «livelli» che la compongono
- Distinzione tra due macro-categorie di simulazioni (Grune-Yanoff & Weirich, 2010)
- Ad **equazione**: l'evoluzione del sistema è descritta deterministicamente da equazioni differenziali; risolte numericamente, danno lo stato futuro del sistema
- Ad **agente**: la dinamica del sistema è generata facendo evolvere i singoli componenti (agenti) secondo regole di comportamento



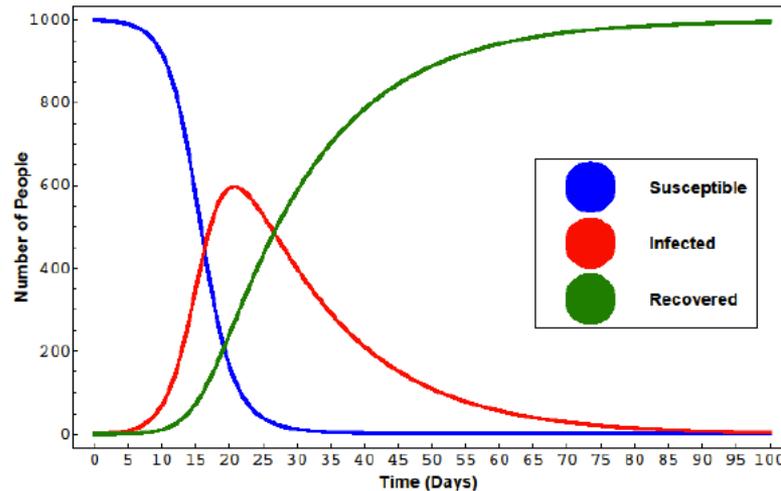
1) LEZIONE SUL MODELLO DI DIFFUSIONE DI UN VIRUS

- Introduzione del modello di Kermack & McKendrick's ([1927](#))
- L'evoluzione nel tempo della popolazione di suscettibili, infetti e rimossi è descritta da tre equazioni differenziali non lineari

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{\beta I(t)S(t)}{N}$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \frac{\beta I(t)S(t)}{N} - \gamma I(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t)$$



1) LEZIONE SUL MODELLO DI DIFFUSIONE DI UN VIRUS

- Discussione di diversi approcci per costruire modelli computazionali e simulazioni per lo stesso modello SIR

APPROCCI AD EQUAZIONE

- Integrazione numerica tramite una funzione apposita (metodo `odeint` in Python)
- Integrazione per differenze finite: le equazioni vengono discretizzate e la popolazione è calcolata usando i valori ottenuti al passaggio precedente

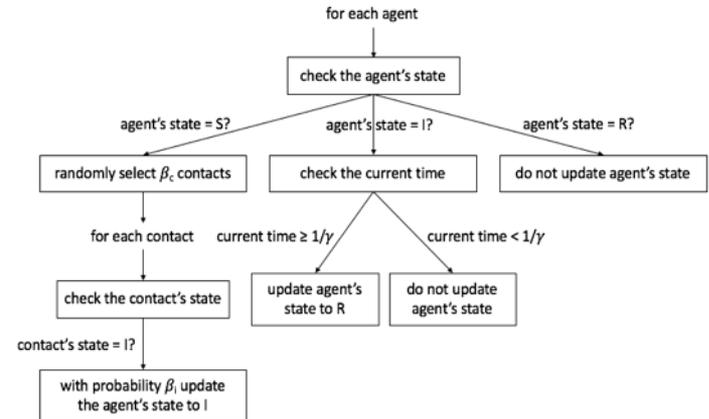
$$S_{t+1} = S_t + \frac{dS}{dt} = S_t - \frac{\beta S_t I_t}{N}$$

$$I_{t+1} = I_t + \frac{dI}{dt} = I_t + \frac{\beta I_t S_t}{N} - \gamma I_t$$

$$R_{t+1} = R_t + \frac{dR}{dt} = R_t + \gamma I_t$$

APPROCCIO AD AGENTE

- Dalle equazioni alla definizione di regole di comportamento per tipi di individui



1) LEZIONE SUL MODELLO DI DIFFUSIONE DI UN VIRUS

CONFRONTO TRA APPROCCI

- **Determinismo vs probabilità:** I risultati dei modelli ad agente sono diversi ogni volta che viene lanciata la simulazione, mentre i modelli ad equazione portano agli stessi risultati, date le stesse condizioni iniziali
- **Continuo vs discreto:** I modelli ad equazione sono continui e la discretizzazione è soltanto dovuta alla necessità di risolverli numericamente, mentre i modelli ad agente sono intrinsecamente discreti nel tempo e nello spazio
- **Top-down vs bottom-up:** I modelli ad equazione sono top-down perché la conoscenza esperta sul problema è già contenuta nelle equazioni che lo descrivono, mentre i modelli ad agente sono bottom-up perché le proprietà e i pattern di evoluzione collettiva emergono dalle regole imposte ai singoli agenti



Lezione sul
modello di
diffusione di un
virus



Attività di
gruppo di analisi
di una
simulazione sulla
dinamica di
opinione



Gioco di ruolo
per analizzare
una simulazione
sulla formazione
di gruppi
terroristici

Dalla diffusione di un virus alla diffusione delle idee

«La teoria del contagio biologico è un valido quadro concettuale per un vasto panorama di fenomeni di diffusione e contaminazione che non hanno nulla a che vedere con il mondo biologico. La diffusione delle idee, delle nuove conoscenze, delle convinzioni politiche, delle mode, sono tutti fenomeni di contagio in cui alcuni individui infettano altri individui attraverso le interazioni» (Vespignani, 2019; p. 142)

2) ATTIVITA' DI GRUPPO SUL MODELLO DI AXELROD

- Analisi di una simulazione Netlogo di un particolare modello ad agente: modello di Axelrod per la diffusione della cultura

Le assunzioni del modello:

- La cultura di un individuo può essere espressa come un insieme di opinioni su certi temi
- La cultura può essere modificata solo tramite l'interazione con altri individui e questa interazione fa sì che gli individui diventino più simili

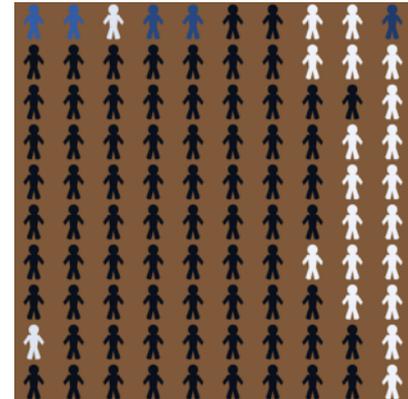
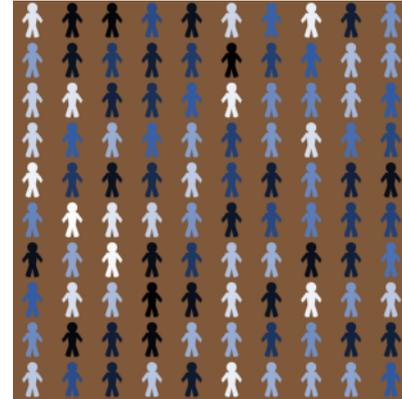
Cosa accade:

- *Nonostante le regole del modello descrivano solo un aumento di similarità tra due individui, la simulazione mostra la formazione di gruppi polarizzati di individui*

Perché accade ciò?

Le simulazioni computazionali come strumenti interdisciplinari di decisione

Attività di gruppo sul modello di Axelrod



2) ATTIVITA' DI GRUPPO SUL MODELLO DI AXELROD

- Analisi di una simulazione Netlogo di un particolare modello ad agente: modello di Axelrod per la diffusione della cultura

Le assunzioni del modello:

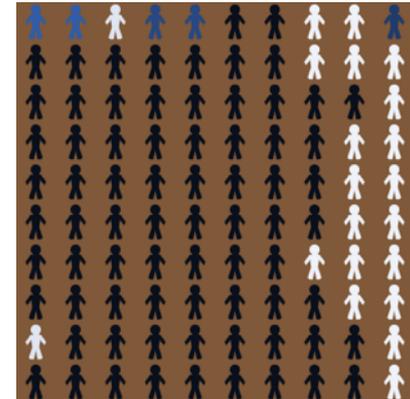
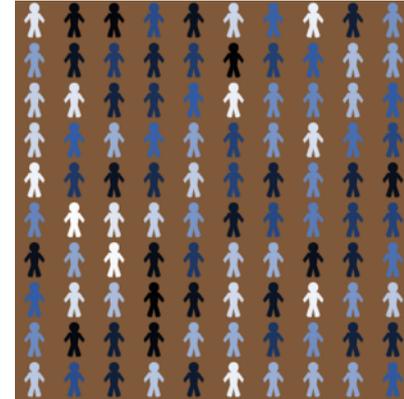
- La cultura di un individuo può essere espressa come un insieme di opinioni su certi temi
- La cultura può essere modificata solo tramite l'interazione con altri individui e questa interazione fa sì che gli individui diventino più simili

Cosa accade:

- *Nonostante le regole del modello descrivano solo un aumento di similarità tra due individui, la simulazione mostra la formazione di gruppi polarizzati di individui*

Perché accade ciò?

- Non-linearità
- Comportamento emergente
- Meccanismo locale





L'utilizzo di un modello giocattolo nella costruzione di un modello complesso

La comprensione dei modi in cui le persone interagiscono scambiandosi idee e cambiando la propria cultura è utile per modellizzare una vasta gamma di fenomeni sociali ben più complessi

3) GIOCO DI RUOLO SULLA SIMULAZIONE DELLA FORMAZIONE DI GRUPPI TERRORISTICI

- Attività di analisi di una simulazione sviluppata entro il progetto Horizon2020 PROTON (www.projectproton.eu) dal gruppo di modellizzazione ad agenti del CNR di Roma (Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione)
- Obiettivo del progetto era la realizzazione di un modello per la formazione di gruppi terroristici nelle città europee, per poter valutare linee di intervento socio-politico
- Modello ad agente costruito sul quartiere Neukölln (Berlino): gli individui nel modello interagiscono tra loro secondo le proprie routine, scambiandosi opinioni (modello di Axelrod)



The screenshot shows the top portion of the PROTON project website. At the top left is the PROTON logo, a green gear-like icon. To its right is the text 'PROTON'. Further right, it says 'Co-funded by the European Union' with the European Union flag. Below this is a dark green navigation bar with white text for 'PROJECT', 'RESOURCES', 'NEWS', 'EVENTS', and 'CONTACT US', along with icons for LinkedIn and YouTube. The main content area features a large image of miniature figures on a network diagram. To the right of the image is a teal box with white text: 'Insights into recruitment in organised crime & terrorism'. Below this, a smaller teal box contains the text: 'PROTON project aims at improving existing knowledge on the processes of recruitment to organised crime and terrorist networks through an innovative integration between social and computational sciences.' At the bottom of the teal box are two buttons: 'Expected results' and 'Consortium'.

3) GIOCO DI RUOLO SULLA SIMULAZIONE DELLA FORMAZIONE DI GRUPPI TERRORISTICI

- 50 studenti divisi in 8 gruppi
- Uno studente per gruppo è il *master* (facilitatore) e aveva il ruolo di sindaco di una cittadina che si trova a fare i conti con un fenomeno di terrorismo
- Gli altri sono assessori (urbanistica, sviluppo scientifico, integrazione sociale, turismo), consiglieri, responsabile dell'ordine pubblico, ...
- **Scopo del gioco** è negoziare una decisione collettiva come giunta comunale per contrastare la formazione e la crescita di un gruppo terroristico che si è formato in città

3) GIOCO DI RUOLO SULLA SIMULAZIONE DELLA FORMAZIONE DI GRUPPI TERRORISTICI

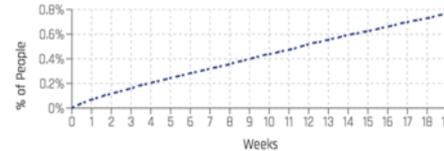
4 fasi di gioco in cui gli elementi della simulazione PROTON vengono svelati progressivamente

Annuncio di un fenomeno



«i servizi segreti ci informano che nella città c'è un gruppo di terroristi in ampliamento»

Grafico per l'andamento della dimensione del gruppo nel tempo



Dettagli riguardo le **possibilità di intervento** politico su cui è costruita la simulazione



- 1) Aumentare il numero di poliziotti
- 2) Aumentare il numero di assistenti sociali
- 3) Incentivare l'occupazione di individui a rischio

Dettagli sul **modello** alla base della simulazione



Caratteristiche degli agenti simulati, dinamica di opinione, routine

ANALISI DELLE REAZIONI DEGLI STUDENTI

- L'analisi del vasto corpus di dati (48 ore di interviste e attività di gruppo) è ancora in corso
- Presentiamo un'analisi preliminare dei dati relativi allo svolgimento del gioco di ruolo:

Domanda di ricerca

Quali forme di ragionamento attivano gli studenti nel discutere un problema sociale complesso tramite una simulazione? In particolare quali forme di ragionamento vengono attivate dai diversi elementi della simulazione (dati, grafici, scenari, modelli)?

Metodologia

1. Coding bottom-up di piccoli pezzi di transcript per individuare le forme di ragionamento, poi applicato sul resto dei dati
2. Confronto tra le forme di ragionamento attivate dagli studenti e gli obiettivi dell'attività

LE FORME DI RAGIONAMENTO

Costruzione del contesto

(recent events)	I wanted to say that lately a wave of vandalism has occurred in the city
(places)	If we think about the hypothesis of the agglomeration in the peripheral area, I can still let you know that there are several abandoned buildings that were left, let's say, by companies that have closed
(stakeholders)	There are still families who do not have equal opportunities and who are not yet well integrated, do not yet have a job
(changes)	In the last period the area has been repopulated due to the immigration of a group of people... a repopulation of the neighbourhood occurred

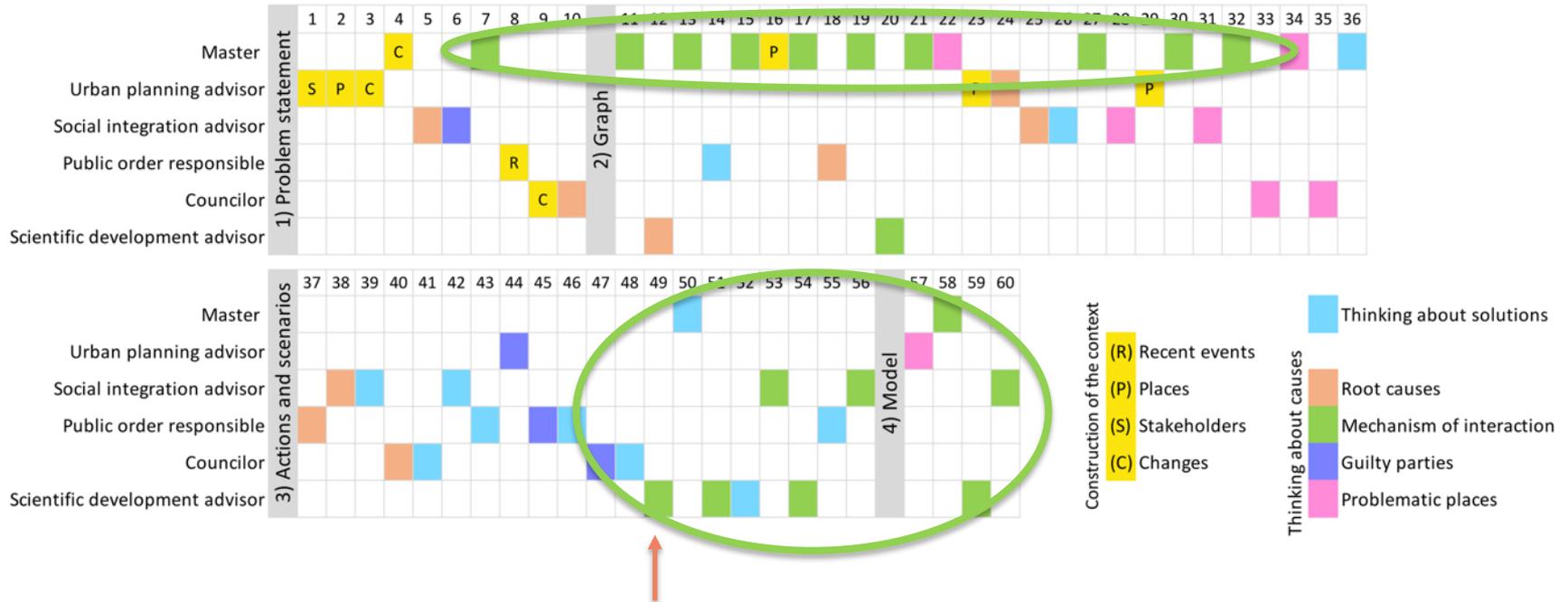
Pensare in termini di soluzioni

We have to start integrating these people, starting from small things. By proposing cultural initiatives, giving at least basic social assistance, or in any case also integrating children in schools

Pensare in termini di cause

(root causes)	Apparently, there was an external input, or something linked to what my colleagues said, some migration phenomena or some discontent, which led to the formation of the group
(mechanism of interaction)	In my opinion there must have been a triggering event that has caused discontent between several people... and one person, maybe two people had the idea of acting, doing something... then others started to gather around them
(guilty parties)	Regarding the formation of this group, of this aggregate of people, do you know if they have entered the city in recent months or is it a group of people who have lived in the city for years?
(problematic places)	We could find an origin not in a square in the city centre but in an area where there are strong migratory flows or strong agglomerations

ELEMENTI DELLA SIMULAZIONE E FORME DI RAGIONAMENTO

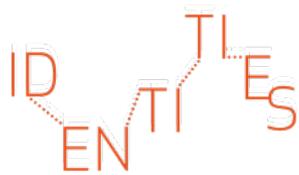


Introduzione del modello di Axelrod come analogia

CONCLUSIONI

- I risultati mostrano che gli studenti mettono in campo diverse forme di ragionamento di fronte a una simulazione riguardo un fenomeno sociale, attivate da diversi elementi di conoscenza
- Elementi come i grafici, che a priori erano considerati essenziali per attivare un ragionamento sul meccanismo di reclutamento, non si sono rivelati efficaci
- Aver invece esplorato nel dettaglio un modello giocattolo come quello di Axelrod è servito come punto di partenza per sviluppare ragionamenti complessi anche nell'ambito di una simulazione più realistica
- Tali ragionamenti hanno permesso di confrontare diverse strategie di intervento e negoziare una decisione consapevole
- Il potenziale delle simulazioni sta anche nel loro carattere interdisciplinare che coinvolge una varietà di forme di conoscenza, provenienti da ambiti disciplinari diversi

Se propriamente trattate, le simulazioni possono portare allo sviluppo di competenze di decisione che permettono di districarsi nella varietà di forme di conoscenza ed estrarne significato



Enlightening
Interdisciplinarity
in STEM for Teaching

Le simulazioni computazionali come
strumenti interdisciplinari di decisione

Futuri sviluppi

FUTURI SVILUPPI

- Il modulo di insegnamento verrà raffinato, ampliato ed adattato per diversi tipi di studenti in collaborazione con i partner del progetto IDENTITIES, per sottolinearne ulteriormente la portata interdisciplinare
- Prossime implementazioni: nov-dic 2020, Barcellona, insegnanti in servizio; gen-feb 2021, Bologna, PLS con studenti di scuola secondaria; apr-mag, Bologna, studenti del corso di Didattica della Fisica; giu 2021, Barcellona, insegnanti in formazione iniziale

BIBLIOGRAFIA

- Adam, D. (2020). Special report: The simulations driving the world's response to COVID-19. *Nature*, 580, 316-318. doi:10.1038/d41586-020-01003-6
- Barelli, E., Branchetti, L., Tasquier, G., Albertazzi, L., & Levrini, O. (2018). Science of Complex Systems and Citizenship Skills: A Pilot Study with Adult Citizens. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4), 1533-1545. doi: 10.29333/ejmste/84841
- Greca, I. M., Seoane, E., Arriasecq, I. (2014). Epistemological Issues Concerning Computer Simulations in Science and Their Implications for Science Education. *Science & Education*, 23, 897-921. doi: 10.1007/s11191-013-9673-7
- Hey, T., Tansley, S., Tolle, K. (2009). *The Fourth Paradigm: Data-intensive Scientific Discovery*. Washington: Microsoft Research. ISBN: 978-0982544204.
- Grüne-Yanoff, T., & Weirich, P. (2010). The Philosophy and Epistemology of Simulation: A Review. *Simulation & Gaming*, 41(1), 20-50. doi:10.1177/1046878109353470
- Jacobson, M. J., Wilensky, U. (2006). Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11-34. doi:10.1207/s15327809jls1501_4.
- Kermack, W. O., McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 115(772), 700-721. doi:10.1098/rspa.1927.0118
- Vespignani, A. (2019). *L'algoritmo e l'oracolo. Come la scienza predice il futuro e ci aiuta a cambiarlo*. Milano: Il Saggiatore. ISBN: 978-8842825821