



PROPOSTA PER UNA PIANIFICAZIONE RAZIONALE DELLA RIPRESA DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE IN PRESENZA

PREMESSA

L'attuale situazione epidemiologica sta facendo emergere due ricadute che si pongono in reciproco conflitto. Se da una parte le misure restrittive adottate per tutelare il diritto alla salute della collettività sono necessarie, dall'altra, come ci mostrano le analisi su quanto accaduto nella prima ondata, l'interruzione della didattica in presenza e la sua sostituzione con quella a distanza, applicata su larga scala, comportano non solo un deficit formativo e nel normale processo di crescita della persona, a causa della caduta degli apprendimenti (*learning loss*) e di perdita della socialità, ma aumentano anche il rischio sociale di una dequalificazione del capitale umano che potrebbe produrre effetti negativi permanenti sullo sviluppo e sul benessere della nostra comunità nazionale.

Si tratta allora di trovare una soluzione per assicurare nella situazione data il giusto equilibrio tra il diritto alla salute e il diritto all'istruzione, che avendo entrambi rilievo costituzionale, non possono, e non devono confliggere bensì cooperare fra loro al progresso del Paese, trasformando l'attuale momento di emergenza in opportunità di futuro per tutti i nostri studenti.

La scuola non vive in una dimensione isolata e non è un apparato pubblico autosufficiente, il servizio formativo per essere erogato con efficacia e per realizzare la sua mission richiede una organizzazione intrinsecamente complessa, che deve essere sostenuta dalla partecipazione attiva e necessaria di altri sistemi, come quelli che fanno capo ai trasporti e alla sanità, in un vero gioco di squadra da declinare a livello territoriale e che non può prescindere da una pianificazione strategica e attenta dei contributi di ciascun Ente.

Le evidenze scientifiche, grazie all'incommensurabile lavoro organizzativo condotto durante l'estate dalle comunità scolastiche, dimostrano che la ripresa del contagio nella seconda ondata non sia imputabile alla scuola, che anzi oggi è da considerare uno dei luoghi più sicuri, ma sia dipeso invece da cause esterne, come appunto l'utilizzo di mezzi di trasporto affollati, perché non sufficienti o comunque inadeguati a garantire un servizio protetto, ovvero l'estrema difficoltà con cui sono stati condotti, da metà settembre in poi, gli screening e il tracciamento della popolazione scolastica da parte dei Dipartimenti di prevenzione delle aziende sanitarie locali.

In questo documento è esposta una possibile strategia di intervento che ha come obiettivo la ripresa programmata delle attività didattiche in presenza nella logica della corresponsabilità tra i sistemi coinvolti, quello scolastico, dei trasporti e sanitario, ognuno per gli ambiti rispettiva competenza.

La proposta si basa sul concetto di ottimizzazione degli interventi, che significa ricerca della migliore soluzione possibile per massimizzare la frequenza in presenza e al contempo proteggere la salute di tutti, consapevoli del fatto che un azzeramento dei rischi di diffusione dei contagi non sia realistico e che lo scenario più probabile in cui ci troveremo anche nei prossimi mesi sarà quello di una perdurante convivenza con il virus.

Il nostro obiettivo: dimostrare che la scuola non solo è sicura per gli studenti e il suo personale, ma può anche contribuire a proteggere tutti.

DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello matematico che qui si presenta si basa sul consolidato sistema SIR già utilizzato da (Cooper, Mondal et al. 2020) , con la successive rimodulazioni descritte dai modelli SEIR, si vedano (He, Peng et al. 2020), (Mwalili, Kimathi et al. 2020) e successivamente SEAIR, come esposto in (Basnarkov 2020).

Quest'ultimo è stato modificato ulteriormente rispetto a quanto già proposto da (Gandolfi 2021) per descrivere in termini relativi l'evoluzione del contagio nel tempo in una istituzione scolastica. La sigla SEAIR è l'acronimo delle cinque categorie in cui è suddivisa la popolazione studiata: si chiamano S i suscettibili, cioè la parte di popolazione che potrebbe sviluppare l'infezione; sono E gli esposti, cioè la parte di popolazione che entra in contatto con una persona infetta e che in seguito a questo contatto (più o meno stretto) potrebbe sviluppare l'infezione. Questa si può manifestare in due forme che sono rappresentate quindi dalle categorie A degli asintomatici e I degli infetti che a seguito dello sviluppo dell'infezione guariscono (o decedono) smettendo di essere contagiosi e entrando nella categoria R dei rimossi. Il modello SEAIR è stato modificato per descrivere la routine giornaliera della popolazione scolastica, da qui in poi intesa come l'insieme degli studenti e delle studentesse di una scuola più il personale docente e non docente. Sono quindi presenti:

- una funzione denominata *TTAB* (time-table) che descrive i giorni della settimana in cui sono previste le lezioni;
- una funzione *calp* (calendario in presenza) che descrive in quali ore della giornata è prevista la frequenza in presenza - questa funzione descrive anche la durata della permanenza della popolazione scolastica all'interno della scuola;
- una funzione *calt* (calendario del trasporto) che descrive in quali ore della giornata la popolazione scolastica utilizza i mezzi di trasporto per l'ingresso a scuola e l'uscita dalla scuola;
- una funzione *SEL* (selection) che descrive le possibili scelte del decisore politico di interrompere le lezioni in presenza (DIP) per attivare la modalità della didattica digitale integrata (DDI) - questa funzione interviene sulla presenza della popolazione scolastica sui mezzi di trasporto e all'interno della scuola.

Sono poi stati introdotti otto parametri, selezionati tra quelli rispetto ai quali sia possibile avere una attendibilità scientifica tramite pubblicazioni internazionali o tramite l'elaborazione di dati resi pubblici da Enti Governativi o comunque riconosciuti a livello istituzionale:

- η : il tasso di trasmissione dell'infezione esterno/in ambienti aperti;
- θ : il tasso di trasmissione dell'infezione in ambienti sovraffollati e chiusi;
- c : la percentuale di capienza dei mezzi di trasporto rispetto al massimo consentito;
- σ : il tasso di trasmissione dell'infezione in ambito scolastico, che è correlato alle misure di distanziamento sociale e al rispetto e all'efficacia dei protocolli di sicurezza insieme all'utilizzo dei DPI;
- α : il tasso di insorgenza di casi asintomatici, che è l'inverso del relativo tempo medio di latenza;
- μ : il tasso di insorgenza di casi sintomatici, che è l'inverso del relativo tempo medio di latenza;
- γ : il tasso di guarigione.

Dal momento che la popolazione scolastica è composta prevalentemente da studenti e studentesse (che rappresentano l'82% del totale) caratterizzate da una fascia di età in cui la mortalità per Covid è stimata nello 0.01%, la categoria R dei rimossi è stata rinominata come quella dei guariti e di seguito è descritta col simbolo G. Lo schema di evoluzione del modello è rappresentato nella Figura 1.

Da un punto di vista formale il modello è descritto matematicamente dal seguente sistema dinamico:

$$\begin{aligned} \dot{S} &= -\eta(t)(1 - cal(t))(1 - bus(t))S - c\theta(1 - cal(t))bus(t)S - \sigma cal(t)SE \\ \dot{E} &= \eta(t)(1 - cal(t))(1 - bus(t))S + c\theta(1 - cal(t))bus(t)S + \sigma cal(t)SE - \alpha E - \mu E \\ \dot{A} &= \alpha E - \gamma A \\ \dot{I} &= \mu E - \gamma I \\ \dot{G} &= \gamma A + \gamma I \end{aligned}$$

In questo caso $\eta(t)$ descrive l'evoluzione stagionale della diffusione del contagio seguendo una legge del tipo $\eta(t) = \eta_0(1 + \bar{\eta} \sin^k(t - t_0))$ in cui η_0 è il minimo tasso di trasmissione dell'infezione all'esterno/in ambienti aperti al tempo t_0 , $\bar{\eta}$ è il tasso di crescita di η e k è il valore di best-fitting dei dati.

L'evoluzione temporale delle quattro categorie si può dunque modellizzare come una matrice composta da cinque vettori che descrivono lo stato di ogni categoria nel tempo e che è ottenibile come funzione dei parametri e delle funzioni calendario sopra descritte, dai valori iniziali E_0, A_0, I_0 e G_0 e dai vincoli $S, E, A, I, G \geq 0$ e $S + E + A + I + G = 1$. Le soluzioni del sistema dinamico si ottengono quindi come $[S, E, A, I, G] = f(\eta, c, \theta, \sigma, \alpha, \gamma, \mu, cal, bus, E_0, A_0, I_0, G_0)$.

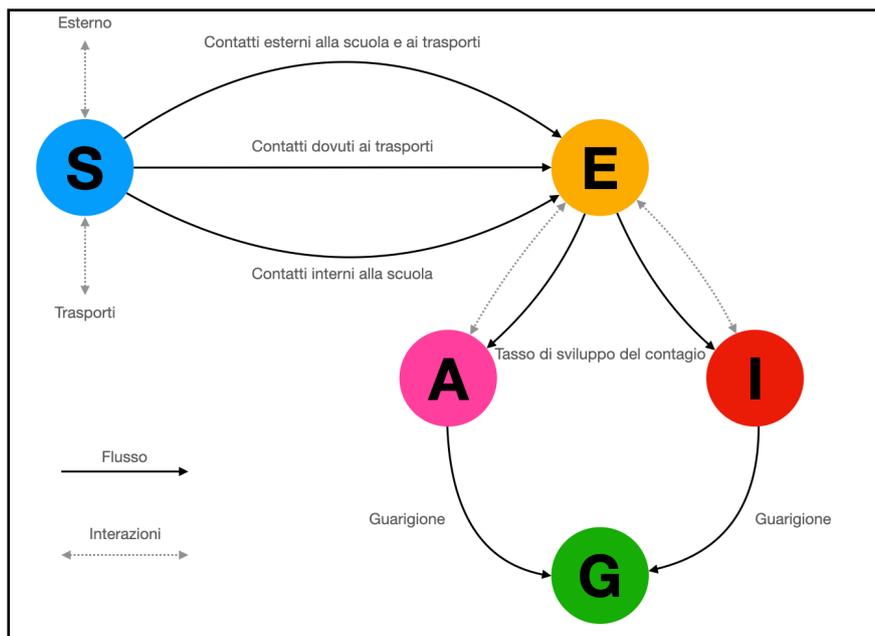


Figura 1: schema descrittivo dell'evoluzione del modello.

COSTRUZIONE DELLE FUNZIONI DI CONTROLLO

Sono funzioni di controllo le funzioni che descrivono i calendari. La funzione time-table $TTAB$ è descritta come matrice $TTAB_{7 \times 40}$ dove le righe corrispondono ai giorni della settimana e le colonne alle settimane di un ordinario calendario scolastico. Negli esempi e nelle simulazioni successive si farà riferimento al calendario scolastico piemontese. Formalmente, la matrice è così definita:

$$TTAB_{d,w} = \begin{cases} 1 & \text{se il giorno } d \text{ della settimana } w \text{ è un giorno del calendario scolastico} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

E ha quindi una struttura di questo tipo:

| | S 1 | S 2 | S 3 | S 4 | S 5 | S 6 | S 7 | S 8 | S 9 | S 10 | S 11 | S 12 | S 13 | S 14 | S 15 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| lun | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | ... |
| mar | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | ... |
| mer | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | ... |
| gio | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | ... |
| ven | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | ... |
| sab | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... |
| dom | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... |

Si osservi che l'inizio del calendario scolastico è del tutto arbitrario, nel senso che l'ingresso d, w della matrice corrisponde al $7(w - 1) + d$ -esimo giorno da passato rispetto al primo giorno scelto che non fa riferimento al calendario solare. Nell'esempio sopra riportato le settimane dalla 1 alla 9 sono settimane di scuola con frequenza regolare, nella settimana 10 non è prevista scuola il lunedì e il martedì (simulazione di ciò che è comunemente chiamato "ponte"), mentre per l'intera settimana 12 non è prevista lezione (simulazione di una pausa didattica/vacanza).

La funzione $HOUR$ definisce in quali ore della giornata si svolge attività didattica in presenza ed è descritta da un vettore a 24 ingressi così definito:

$$HOUR_h = \begin{cases} 1 & \text{se ci sarà attività in presenza dall'ora } h - 1 \text{ all'ora } h, \text{ con } h \in [1, 24] \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

questa funzione si costruisce una matrice tridimensionale $M_{h \times d \times w}$ che descrive l'attività didattica in presenza prevista dal calendario scolastico standard in ogni ora dei giorni di scuola programmati, ed è così definita:

$M_{h,d,w} = TTAB_{d,w} * HOUR_h$ dove l'operazione $*$ è definita come il prodotto dell'elemento di indirizzo d, w per l'intero vettore $HOUR$. La matrice M contiene quindi le informazioni relative alle ore da svolgere in presenza. Anche in questo caso si osservi che le ore descritte hanno come riferimento relativo la prima ora scelta, ovvero la prima ora del primo giorno della prima settimana

da cui si fa cominciare il calendario. Ogni altro elemento di posizione h, d, w della matrice corrisponde alla $24(7(w - 1) + d - 1) + h = 24(7w + d - 8) + h$ -esima ora trascorsa a partire dalla prima.

La funzione cal è la trascrizione in forma vettoriale della matrice M e si ottiene con l'abbinamento: $M_{h,d,w} \rightarrow cal_{24(7w+d-8)+h}$.

Per costruire la funzione bus si procede in maniera analoga a quanto esposto per la funzione cal : si costruisce la funzione $HBUS$ che definisce in quali ore della giornata si utilizzano i mezzi di trasporto pubblico ed è descritta da un vettore a 24 ingressi così definito:

$$HBUS_h = \begin{cases} 1 & \text{se si utilizzano i mezzi di trasporto pubblico dall'ora } h - 1 \text{ all'ora } h \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

con $h \in [1,24]$. Con questa funzione si costruisce una matrice tridimensionale $N_{h \times d \times w}$ che descrive l'utilizzo dei mezzi di trasporto pubblico per andare/tornare da scuola in ogni ora dei giorni scuola programmati, ed è così definita: $N_{h,d,w} = TTAB_{d,w} * HBUS_h$ dove l'operazione $*$ è definita come il prodotto dell'elemento di indirizzo d, w per l'intero vettore $HBUS$.

La funzione bus è la trascrizione in forma vettoriale della matrice N e si ottiene con l'abbinamento: $N_{h,d,w} \rightarrow bus_{24(7w+d-8)+h}$.

Infine, la classe di funzioni SEL descrive le scelte che il decisore può operare relativamente al fatto che l'attività didattica si svolga in presenza o a distanza. Una funzione SEL è un vettore che contiene w elementi, così definito:

$$SEL_w = \begin{cases} 1 & \text{se nella settimana } w \text{ si svolgono le attività didattiche in presenza} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

In base alla funzione SEL che si vuole adottare si ottengono in questo modo due calendari: il calendario delle lezioni in presenza $calp$ e il relativo calendario dei trasporti $calt$ così definiti:

$$(TTAB_{d,w} * HOUR_h) * SEL_w \rightarrow calp_{24(7w+d-8)+h}$$

$$(TTAB_{d,w} * HBUS_h) * SEL_w \rightarrow calt_{24(7w+d-8)+h}$$

Considerando l'intero calendario scolastico (dall'inizio delle lezioni il 14 settembre alla fine l'11 giugno) sono coinvolte 40 settimane. Questo fa sì che ci siano 40 settimane da selezionare e di conseguenza la famiglia delle funzioni SEL contiene $2^{40} + 1$ possibili scelte, pari a circa 1100 miliardi di scelte. Alla data attuale, e con la prospettiva di un ritorno alla frequenza in presenza a partire dal 9 dicembre si può operare una scelta tra 28 settimane, che riduce la quantità di possibili calendari a poco meno di 270 milioni; nell'ipotesi di una ripresa programmata per il 7

gennaio rimangono invece 24 settimane, con ulteriore riduzione delle possibili funzioni SEL a 16.7 milioni circa. Se invece si slittasse ulteriormente all'11 gennaio la quantità di calendari da vagliare sarebbe pari a circa 8.4 milioni.

In tutti questi casi ci sono due tipi di funzioni SEL da prendere in considerazione come riferimento in quanto caratteristiche di due situazioni diametralmente opposte:

- quella che descrive la frequenza in presenza di tutte le lezioni, corrispondente alla funzione $SEL_w = 1 \forall w$ che genera i calendari $calpDIP$ e $caltDIP$ che descrivono il completo svolgimento delle attività didattiche in presenza per tutta la durata del calendario scolastico;
- quella che descrive la frequenza a distanza di tutte le lezioni, corrispondente alla funzione $SEL_w = 0 \forall w$ che genera i calendari $caltDDI$ e $caltDDI$ che descrivono il completo svolgimento delle attività didattiche a distanza per tutta la durata del calendario scolastico.

SCELTA DEI PARAMETRI

I parametri scelti fanno riferimento a indicatori riscontrabili in letteratura o tramite l'analisi dei dati pubblicati periodicamente da fonti ufficiali (Regione, Protezione Civile, ISS).

Per quanto riguarda il parametro η , questo è dovuto alla trasmissione del contagio tramite contatti tra la popolazione scolastica e il resto della popolazione non scolastica. Si può allora partire dalla prevalenza dei casi positivi in ambito non scolastico. La Regione Piemonte pubblica giornalmente il dato relativo ai nuovi positivi in ambito scolastico ed è allora possibile stimare la prevalenza dei casi non scolastici togliendo dai nuovi casi giornalieri totali i casi di ambito scolastico. L'analisi di questi dati mostra che la prevalenza oscilla da un valore minimo 3.79×10^{-4} a un massimo di 7.01×10^{-3} che è coerente con quanto esposto da (Franceschi, Santos et al. 2020). L'utilizzo dei DPI dalla ormai quasi totalità della popolazione permette di ridurre il tasso di infezione esterno di un fattore 0.4, in accordo con (Howard, Huang et al. 2020) e (Asadi, Cappa et al. 2020). Serve ancora stimare il numero medio di contatti giornalieri per le fasce di età interessate: in base ai dati allegati in (Prem, Cook et al. 2017) e (Del Valle, Hyman et al. 2007) possiamo calcolare il numero medio di contatti per la fascia di età 15-20 anni e quello della fascia di età 30-65 anni e ottenere una media pesata sul rapporto tra personale della scuola e alunni che in Piemonte è di 2 a 9. Con questo processo si ottiene una media dei contatti in ambienti esterni alla scuola, a casa e al posto di lavoro (quindi esterno) di 15.8 contatti giornalieri. Serve ancora un fattore relativo alle ore in cui non si è a scuola o in viaggio verso o da casa. Avendo simulato un tempo scuola di 6 ore e 2 ore di viaggio complessivo tra andata e ritorno il fattore richiesto è pari a 0.0625. Possiamo allora dire che il parametro oscilla tra:

$$\eta = 3.79 \times 10^{-4} \cdot 0.4 \cdot 15.8 \cdot 0.0625 = 1.50 \times 10^{-4} \text{ e}$$

$$\eta = 7.01 \times 10^{-3} \cdot 0.4 \cdot 15.8 \cdot 0.0625 = 2.77 \times 10^{-3}.$$

Il parametro c descrive la capienza dei mezzi di trasporto e il suo valore riflette quanto stabilito a livello normativo. Al momento la capienza dei mezzi di trasporto pubblico non può superare il 50% della capienza a pieno carico, per cui si ha $c = 0.5$. È comunque possibile svolgere simulazioni che adottano altri valori di c . Ci sono poi due casi particolari: $c = 0$ che corrisponde all'impossibilità di utilizzare i mezzi di trasporto, e $c > 1$ che corrisponde a un sovraffollamento dei mezzi (fenomeno che può capitare su alcune tratte nelle ore di punta).

Il parametro θ è certamente tra i più complessi da stimare in quanto la letteratura in merito non è ricca e i dati a disposizione sono pochi. Per affrontare il problema si può fare ricorso alle matrici di contatto - si vedano nuovamente (Prem, Cook et al. 2017) e (Prem, Cook et al. 2017) e in

particolare (Leung, Jit et al. 2017) in cui si trovano matrici di contatto relative al settore trasporti, ma servono anche dati relativi all'evoluzione del contagio in ambienti affollati e chiusi come possono essere i mezzi di trasporto. Con gli stessi pesi relativi alla proporzione di docenti e personale della scuola descritti nel caso di η si ricava dalle matrici di contatto che il numero medio di contatti in un'ora di viaggio sui mezzi trasporto è 56.2. Dal momento che sui mezzi di trasporto è praticamente impossibile mantenere il distanziamento di 1 metro, non si applica nessun fattore di riduzione dovuto al social distancing, ma si applica quello relativo all'utilizzo delle DPI che è pari a 0.4; infine consideriamo la prevalenza su 14 giorni - dovuti alla quarantena/isolamento dei positivi - stimabile dai dati forniti dalla Regione Piemonte in un range compreso tra 1.26×10^{-3} e 1.36×10^{-2} che ci portano a ottenere una oscillazione del parametro θ tra 2.84×10^{-2} e 3.05×10^{-1} , range compatibile con quanto esposto in (Luo, Lei et al. 2020).

Il parametro σ si ottiene a partire dalle matrici di contatto scolastiche delle sole fasce di età relative alla popolazione scolastica, pesate sulle 6 ore di attività didattica in presenza simulata. Da queste si ottiene che il numero medio di contatti tra la popolazione scolastica durante al permanenza a scuola è di 26.6, che va scalato di un fattore 0.5 dovuto al distanziamento che a scuola è rispettato nella misura di almeno 1 metro per tutte le ore di attività didattica, pari a circa il 95% del tempo che si trascorre a scuola. L'utilizzo obbligatorio delle mascherine nuove ogni giorno aumenta di molto l'efficacia dei DPI e di conseguenza subentra un fattore 0.1; dal momento che la prevalenza tra la popolazione scolastica oscilla tra 2.20×10^{-4} e 2.87×10^{-3} - dati elaborati a partire da (Piemonte 2020) - si ottiene che $2.45 \times 10^{-4} \leq \sigma \leq 3.21 \times 10^{-3}$ che è coerente col range proposto da (Tsay, Lejarza et al. 2020) a meno dei fattori di protezione dovuti al distanziamento e all'utilizzo dei DPI.

Il parametro α rappresenta l'inverso del tempo di latenza (o di incubazione) che è mediamente compreso tra 5 e 7 giorni - si veda (Backer, Klinkenberg et al. 2020), quindi scalando il dato all'unità oraria si ottiene che $5.95 \times 10^{-3} \leq \alpha \leq 8.33 \times 10^{-3}$.

Il parametro μ si può stimare confrontando il rapporto medio tra sintomatici e asintomatici e il ritardo che accumulano i casi definiti come "indagine in corso" dal bollettino giornaliero della Regione Piemonte rispetto all'andamento del contagio. Dall'analisi dei dati risulta uno shift compreso tra 2 e 10 giorni corrispondente al range $1.99 \times 10^{-3} \leq \mu \leq 2.78 \times 10^{-3}$.

Infine per il parametro γ , visto che la guarigione da Covid avviene in circa 2 settimane nei più leggeri casi asintomatici e fino a 6 settimane, compreso il ricovero, per i casi più severi, si identifica come range $1 \times 10^{-4} \leq \gamma \leq 6 \times 10^{-3}$. I range dei parametri del modello sono riassunti nella Tabella 1.

| Param. | Min | Val. medio | Max |
|----------|---------|------------|---------|
| η | 0,00015 | 0,00146 | 0,00277 |
| c | 0,00000 | 0,50000 | 1,00000 |
| θ | 0,02839 | 0,16686 | 0,30534 |
| σ | 0,00025 | 0,00173 | 0,00321 |
| α | 0,00595 | 0,00714 | 0,00833 |
| γ | 0,00100 | 0,00510 | 0,00600 |
| μ | 0,00198 | 0,00238 | 0,00278 |

Tabella 1: valori e range dei parametri utilizzati

RISPOSTA AI PARAMETRI

Per valutare l'impatto dei parametri sugli scenari descritti dal modello si è fatto variare in maniera lineare sull'intero range un parametro per volta mantenendo gli altri sui valori centrali. In questo modo è possibile osservare la risposta del modello alla variazione di ogni singolo parametro e anche al modo in cui il modello risponde. Gli aspetti più interessanti riguardano in particolare la variazione del massimo picco di positivi (sintomatici e asintomatici) dovuta alla variazione dei parametri e l'impatto dei parametri sull'esposizione al virus al termine dell'anno scolastico, infatti l'ampiezza della variazione è proporzionale alla sensibilità del modello al parametro. Questo significa che di fronte a piccole variazioni il modello è stabile, mentre a fronte di grandi variazioni il modello è sensibilmente suscettibile al parametro: questo vuol dire che laddove sia possibile intervenire esternamente con scelte che modificano il valore del parametro, il modello darà una risposta significativamente osservabile. Per fare questo tipo di analisi sono state lanciate delle simulazioni che prevedono la ripresa delle attività in presenza a partire dal 11/1/2021 e per le 22 settimane di calendario scolastico regionale rimanenti senza più interruzioni didattiche. L'analisi dei diversi scenari al variare dei parametri ha permesso di identificarne tre rispetto ai quali il modello è stabile (σ , α , μ), e altri quattro rispetto ai quali è suscettibile (η , c , θ , γ). Si osservi che i primi tre sono parametri che descrivono alcuni degli aspetti organizzativi meglio applicati in ambito scolastico (distanziamento sociale, utilizzo delle DPI, adozione di protocolli di sicurezza rigorosamente applicati) oppure aspetti intrinseci della natura del virus (il tempo di latenza). Nel secondo caso si tratta invece dei parametri correlati alle scelte strategiche e organizzative compiute a livello locale o nazionale o allo stile di vita comune.

La variazione del massimo picco di positivi (sintomatici e asintomatici) dovuto alle oscillazioni dei parametri è riportata nella Tabella 2

| Param. | Max | Min | $\Delta(A+I)$ | % |
|----------|-------|-------|---------------|-------|
| η | 30,67 | 24,49 | 6,18 | 11,8% |
| c | 22,66 | 13,77 | 8,89 | 16,9% |
| θ | 21,82 | 14,34 | 7,48 | 14,3% |
| σ | 18,03 | 17,50 | 0,53 | 1,0% |
| α | 18,01 | 17,51 | 0,50 | 1,0% |
| γ | 44,46 | 15,73 | 28,73 | 54,7% |
| μ | 17,85 | 17,68 | 0,17 | 0,3% |

Tabella 2: variazione picchi positivi dovuti a variazione parametro.

Nello stesso modo si procede all'analisi della variazione dei picchi separando sintomatici e asintomatici (tabelle 3 e 4).

| Param. | Max | Min | ΔA | % |
|----------|-------|-------|------------|-------|
| η | 18,36 | 5,90 | 12,46 | 25,6% |
| c | 17,00 | 10,33 | 6,67 | 13,7% |
| θ | 16,37 | 10,76 | 5,61 | 11,5% |
| σ | 13,52 | 13,13 | 0,39 | 0,8% |
| α | 13,62 | 12,86 | 0,76 | 1,6% |
| γ | 33,34 | 11,80 | 21,54 | 44,3% |
| μ | 13,97 | 12,73 | 1,24 | 2,5% |

Tabella 3: variazione picchi positivi asintomatici dovuti a variazione parametro.

| Param. | Max | Min | ΔI | % |
|----------|-------|------|------------|-------|
| η | 6,12 | 1,97 | 4,15 | 23,2% |
| c | 5,67 | 3,44 | 2,23 | 12,5% |
| θ | 5,46 | 3,59 | 1,87 | 10,5% |
| σ | 4,51 | 4,38 | 0,13 | 0,7% |
| α | 5,14 | 3,89 | 1,25 | 7,0% |
| γ | 11,11 | 3,93 | 7,18 | 40,2% |
| μ | 4,95 | 3,88 | 1,07 | 6,0% |

Tabella 4: variazione picchi positivi sintomatici dovuti a variazione parametro.

Analogamente si può operare per studiare la stabilità del modello rispetto a variazioni nelle condizioni iniziali, cioè nella configurazione di rientro alle attività in presenza distinguendo tra un rientro preceduto da una campagna di screening preventivo a tutta la popolazione scolastica e un rientro che non prevede questa iniziativa. In questo secondo caso si può considerare la percentuale di positivi al rientro a scuola come l'incidenza del virus sulla popolazione scolastica. Le simulazioni condotte in questo caso non mostrano variazioni significative nella variazione dei picchi massimi. Sono riportati in appendice i grafici delle simulazioni eseguite.

Infine sono stati simulati 300 calendari scolastici "ibridi" che prevedono alcune settimane in presenza e altre a distanza in maniera casuale e si è condotta una indagine qualitativa sui massimi valori dei picchi per osservare l'impatto che può avere una programmazione ex-ante delle settimane da svolgere in DDI e quelle da svolgere in DIP. Come si può osservare nell'immagine, un calendario che prevede settimane in presenza alternate a settimane a distanza ha un notevole impatto sulla diffusione del contagio tra la popolazione scolastica perché cambiano di molto i picchi dei positivi (viola e rosso), i guariti a fine anno scolastico (in verde) e i suscettibili (in nero).

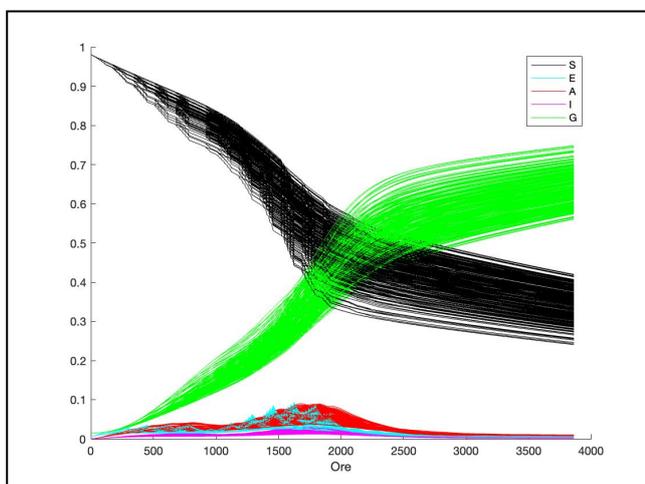


Figura 2: Possibili scenari ottenibili con calendari scolastici ibridi.

Gli scenari preferibili sono quelli in cui il picco di positivi rimane basso, cioè sono poche le persone che si ammalano. Se sono poche le persone che si ammalano sono anche poche le persone che guariscono, quindi picchi bassi nelle curve rosse e viola corrispondono a una curva verde che conclude il suo percorso stando su valori bassi. Infine, se sono poche le persone che si ammalano e che poi guariscono, vuol dire che restano tante le persone che rischiano ancora di ammalarsi: vediamo questo nella curva nera dei suscettibili che rimane su valori alti.

Le 300 simulazioni casuali ci mostrano che l'intervento sulla calendarizzazione programmata di settimana da fare in DIP e settimane da fare in DDI permette di programmare un intervento che può avere ricadute fino a circa il 5% sui positivi e fino a circa il 20% sui suscettibili a fine anno scolastico. È allora evidente che combinare insieme un'azione sinergica che intervenga sui parametri rispetto ai quali il sistema risponde in maniera sensibile sia l'unica strada percorribile per riuscire a contenere i contagi. Questo significa che una possibile strategia da seguire è quella di intervenire sul comparto trasporti, sul comparto sanitario e sul comparto scolastico con azioni che abbiano effetto sulla capienza e la tutela della salute sui mezzi di trasporto, sulla rapidità di tracciamento e testing e sulla modulazione di un calendario scolastico che non consideri li momenti di DDI come una risposta al momento emergenziale contingente, ma un elemento strutturale dell'attività didattica.

PIANIFICAZIONE OTTIMALE DEL CALENDARIO

Le simulazioni condotte mettono in luce il fatto che i momenti di maggior rischio di propagazione del contagio sono correlati al trasporto e alle difficoltà connesse con le operazioni di tracciamento. Di fronte a queste criticità la risposta data dal sistema nei confronti della scuola è sempre stata quella della chiusura: durante la prima ondata con un lockdown generalizzato e adesso con una forma più morbida di lockdown che interessa solo una parte del comparto scolastico. Partendo dalla ovvia premessa che per sconfiggere il virus in assenza di un vaccino dovremmo poterci permettere di confinarci in casa per un certo periodo di tempo senza aver bisogno di nulla e aspettare che la malattia faccia il suo corso, ma che questa soluzione è impraticabile, dobbiamo trovare un modo di conciliare l'iniziativa più restrittiva e tutelante per la salute fisica (sfruttare al massimo la DDI) con quella più lungimirante per l'efficacia dell'azione didattica per la tutela della salute psico-emotiva (sfruttare al massimo la DIP).

Per conciliare insieme questi due vincoli procediamo in questo modo: consideriamo ogni possibile calendario ibrido - che abbiamo chiamato *calp* e *calt* rispettivamente ma che dipendono esclusivamente dalla scelta di *SEL* - e confrontiamo il picco di positivi che raggiunge rispetto al picco di positivi che si ottiene con SEL_{DDI} . Questa differenza corrisponde all'aumento dei positivi dovuti alle attività collaterali e indispensabili a una frequenza in presenza oltre che ai marginali rischi dovuti alla permanenza a scuola. A questo aggiungiamo un termine, cioè il numero di giorni in DDI svolti scalati di un fattore che corrisponda all'aumento del rischio percentuale dovuto ai giorni in presenza e che è correlato al tasso di insorgenza dei focolai scolastici. Definiamo quindi

$$\Pi(SEL) = \max_{SEL} (A + I) - \max_{SEL_{DDI}} (A + I)$$

il primo termine preso in considerazione che descrive l'aumento del picco e

$$GAD(SEL) = \sum_{h=1}^{h_{max}} \frac{calp_{DIP} - calp_{SEL}}{H_L}$$

il numero di giorni di giorni a distanza calcolato come il numero di ore totali da svolgere meno il numero di ore svolte in presenza con il calendario scelto diviso per il numero di ore di lezione giornaliere. La funzione che descrive la situazione sopra esposta è quindi

$$\Omega(SEL) = \Pi(SEL) + \phi GAD(SEL)$$

dove ϕ è il fattore che descrive l'aumento del rischio percentuale dovuto ai giorni in presenza. Il nostro obiettivo è determinare *SEL* in modo da rendere minima, dunque

$$\min_{SEL} \Omega$$

Cioè vogliamo determinare una pianificazione a priori della scansione di settimane da svolgere in presenza e di settimane da svolgere a distanza in modo che risulti minimo l'aumento di positivi e il numero di giorni in cui svolgere attività a distanza. Una volta determinato il calendario ottimale è possibile osservare come questo risponda ai parametri che sollecitano maggiormente il modello per valutare le possibili azioni da intraprendere.

Volendo dare garanzia di almeno la metà delle settimane in presenza si presenta l'arduo compito di vagliare la situazione di 4194303 possibili selezioni: questo richiede un costo computazionale gestibile in tempi accettabili solo da un HPC Cluster (un comune personal computer impiegherebbe giorni a dare una risposta). Tuttavia si possono fare alcune considerazioni che circoscrivono la tipologia di selezioni a un numero ridotto.

L'attuale evoluzione del contagio ci proietta verso uno scenario più sereno nel prossimo mese (con la speranza di una corresponsabile cautela da parte di tutti durante il periodo natalizio), ma comunque di allerta. Insieme a questo ci stiamo avvicinando ai mesi più freddi dell'anno, in cui la necessità di aerazione costante dei locali insieme alla stagionalità del virus rischiano di innescare una terza ondata da una parte e di creare un notevole disagio nella permanenza nelle classi. Queste considerazioni preliminari e di carattere generale ci inducono a prospettare un avvio della frequenza in presenza più diradata a partire da gennaio.

La possibilità di vedere applicata la quota di capienza del 50% sui mezzi pubblici richiede che la popolazione scolastica in movimento giornalmente su un unico scaglione orario di ingresso e di uscita sia dimezzata e di conseguenza è necessario organizzare due gruppi di classi in presenza con un calendario selezionato che permetta una alternanza in presenza ai due gruppi senza sovrapposizioni per tutto il periodo invernale. Insieme a ciò sarebbe opportuna una campagna di screening preventivo prima dell'inizio della ripresa delle attività in presenza (indispensabile per un rientro alle attività didattiche in una scuola "covid-free") ed è auspicabile un monitoraggio in itinere a distanza di circa un mese.

Il calendario potrebbe quindi essere modulato inizialmente in questo modo:



Questa soluzione, oltre ad alleggerire il sistema dei trasporti, ha l'effetto di abbassare di molto il picco dei positivi rendendo più agevole le operazioni di tracciamento. In seguito l'alternanza delle settimane in DDI e in DIP sarà più frequente e potrà seguire lo schema alternato:



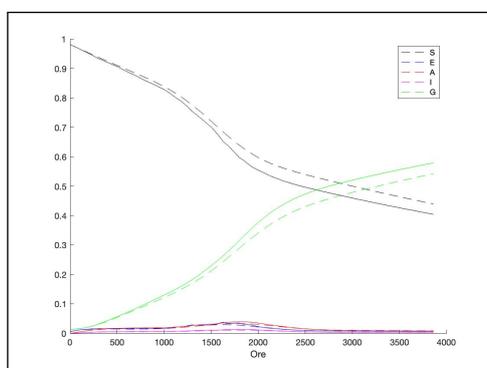
che potrà durare per l'inizio della primavera, a cui seguirà - in corrispondenza dell'avvio della stagione più calda, una frequenza in presenza completa e un ritorno alle comuni calendarizzazioni didattiche. Questa soluzione è flessibile sia rispetto all'andamento epidemiologico locale che alla situazione climatica del territorio, che influisce sulle abitudini sociali e sulla vita quotidiana e di conseguenza sulla diffusione del contagio.

In base a queste considerazioni di carattere pratico e di riproducibilità dell'iniziativa sull'intero territorio nazionale, sono state elaborate 5 diverse proposte di selezione con una quota di frequenza in presenza settimanale identica per i due gruppi e via via crescente.

Insieme ad ogni calendario selezionato è stata lanciata una simulazione per descrivere graficamente l'evoluzione del contagio nella popolazione scolastica. In tutti i casi si osservi come questi calendari mantengono estremamente basso il picco della curva dei positivi. Sono state evidenziati nella riga di intestazione i mesi tipicamente più freddi, miti e caldi con colori diversi e allo stesso modo sono state colorati i calendari selezionati in maniera da rendere evidenti i periodi a presenza diradata, quelli a presenza alternata e quelli a presenza completa.

SELEZIONE 1

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 55% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 55% |

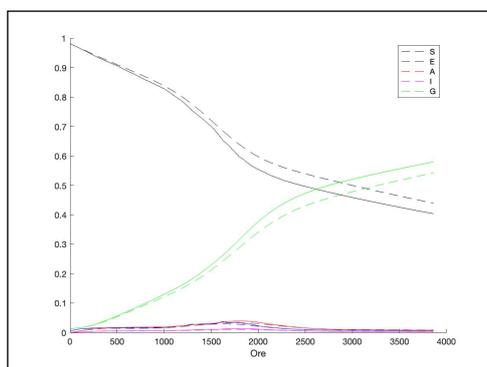


Con questa selezione si svolgono 12 settimane in presenza, pari al 55% e sono previste 3 settimane in completa DDI, cioè senza frequenza per nessuno dei due gruppi. In una di queste tre finestre di full-DDI si può organizzare un secondo screening completo. A partire da metà marzo si passa allo schema alternato e dal 10 maggio e fino a fine scuola alla full-DIP.

Figura 3: simulazione della selezione 1

SELEZIONE 2

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 60% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 60% |



Con questa selezione si svolgono il 60% delle settimane in presenza, per un complessivo numero di 13, e sono previste 3 settimane in completa DDI, cioè senza frequenza per nessuno dei due gruppi. In una di queste tre finestre di full-DDI si può organizzare un secondo screening completo. A partire da metà marzo si passa allo schema alternato e da fine aprile e fino a fine scuola alla full-DIP.

Figura 4: simulazione della selezione 2

SELEZIONE 3

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |

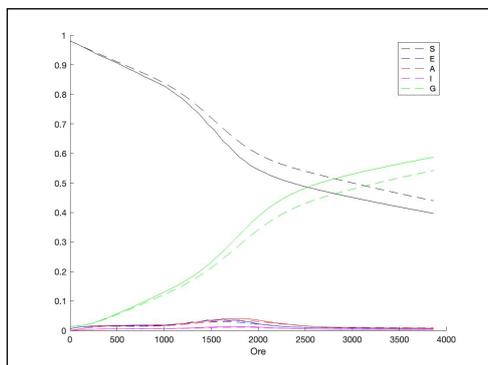


Figura 4: simulazione della selezione 3

Con questa selezione si svolgono il 64% delle settimane in presenza, per un complessivo numero di 14, e sono previste 2 settimane in completa DDI, cioè senza frequenza per nessuno dei due gruppi. In una di queste due finestre di full-DDI si può organizzare un secondo screening completo. A partire da marzo si passa allo schema alternato e da metà aprile e fino a fine scuola alla full-DIP.

SELEZIONE 4

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |

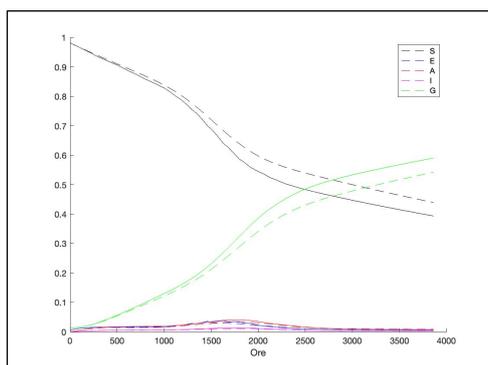


Figura 5: simulazione della selezione 4

Con questa selezione si svolgono il 68% delle settimane in presenza, per un complessivo numero di 15, e sono previste 2 settimane in completa DDI, cioè senza frequenza per nessuno dei due gruppi. In una di queste due finestre di full-DDI si può organizzare un secondo screening completo. Per tutto il mese di marzo si adotta lo schema alternato e da aprile fino a fine scuola si passa alla full-DIP.

SELEZIONE 5

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 73% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 73% |

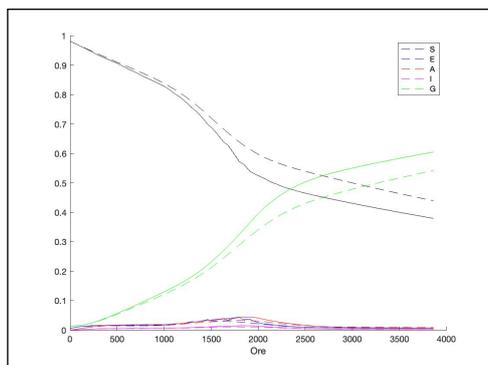


Figura 6: simulazione della selezione 5

Con questa selezione si svolgono il 73% delle settimane in presenza, per un complessivo numero di 16, e sono previste 2 settimane in completa DDI, cioè senza frequenza per nessuno dei due gruppi. In una di queste due finestre di full-DDI si può organizzare un secondo screening completo. Da fine febbraio si adotta lo schema alternato e da fine marzo fino a fine scuola si passa alla full-DIP.

Anche se le cinque selezioni cambiano tra loro di poco per quanto riguarda la dinamica epidemiologica, non sono tutte applicabili allo stesso modo. In primo luogo cambia di molto (quasi il 20%) la quota di settimane in presenza con un notevole impatto sul comparto trasporti; lunghi periodi di full-DIP non escludono la comparsa di casi di positività rispetto ai quali il meccanismo della quarantena va a impattare sulla continuità della frequenza in presenza con un rischio più elevato che in selezioni con periodi di full-DIP più brevi; c'è poi la variabile climatica che anche all'interno della stessa regione va ben calibrata per non creare eccessivi disagi durante i mesi più freddi; infine, se pure è vero che la pausa in full-DDI è di per sé un episodio di stress per il comparto educativo e familiare, e che ha ricadute di tipo psicologico-emotivo e conseguenze a lungo termine che possono andare a intaccare la competenza alfabetica funzionale della cittadinanza, una iniziativa programmata di questo tipo permette:

- ai docenti di progettare per tempo attività pensate per momenti di DIP e di DDI, di organizzare i momenti di valutazione secondo le modalità più consone agli insegnamenti e alle necessità formative degli studenti;
- agli studenti di poter tornare alla frequenza in presenza con una organizzazione preventiva delle attività didattiche a distanza che rendono più trasparente e giusta la relazione educativa con i docenti e con l'istituzione scolastica;
- ai dirigenti scolastici di poter monitorare con serenità il procedere della vita scolastica senza l'affanno degli improvvisi cambiamenti che l'assenza di strategia ha finora reso necessari;
- ai lavoratori della scuola e nella scuola di poter tornare ad una sana socializzazione nel pieno rispetto dei protocolli di sicurezza vigenti;
- alla DDI di poter essere una didattica veramente integrata, perché di completamento alla didattica in presenza.

Con l'azione condivisa di scuola, sanità e trasporti è possibile progettare un triplice intervento che permetterebbe il rientro in presenza per le scuole del secondo ciclo. Da una parte un intervento sull'ambito scolastico che prevede una rimodulazione dei calendari scolastici con l'obiettivo di contenere il contagio e insieme di dare progettualità e strategia alle azioni didattiche. Nel campo sanitario si richiede lo sforzo di preventivare il testing del personale scolastico e degli studenti in modo da avere la sicurezza di una nuova partenza "pulita". Infine, ai trasporti si chiede di poter dare garanzia di un servizio il più possibile efficiente e sicuro. La sfida da raccogliere è quindi questa: che ognuno condivida la propria parte di responsabilità, ma che insieme si abbia una visione comune del futuro.

PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE

Per sviluppare ulteriormente la ricerca di un pianificazione ottimale del calendario delle attività didattiche in presenza sono stati approfonditi alcuni aspetti relativi alla procedura di ottimizzazione.

Le 5 simulazioni sono state confrontate con la conduzione delle attività didattiche in totale DDI, considerata la soluzione più tutelante da un punto di vista sanitario.

Nel grafico seguente sono rappresentati insieme i 7 scenari: le 5 selezioni, la simulazione dello scenario previsto dal DPCM e la simulazione di uno scenario di conduzione delle attività didattiche in completa DDI per un confronto grafico di rapida comprensione.

Col colore nero sono rappresentati i suscettibili, cioè la parte di popolazione che può ancora essere esposta al virus. In verde sono rappresentati i guariti, e infine gli esposti (blu) gli asintomatici (rosso) e i sintomatici (viola). La linea tratteggiata rappresenta la simulazione di una adesione totale alla DDI.

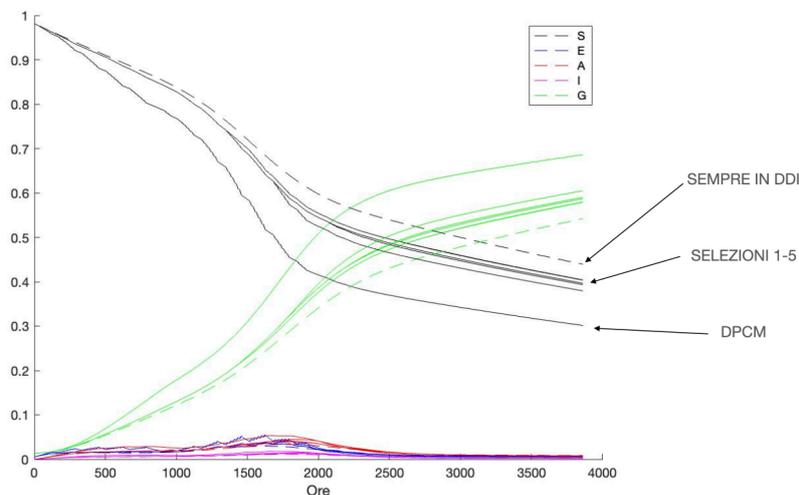


Figura 7: confronto tra le simulazioni dei 5 calendari scelti e i due calendari di riferimento

È stato applicata la procedura per la determinazione del calendario ottimale ai cinque possibili calendari, con l'ulteriore analisi dello studio disaggregato del picco degli asintomatici, dei sintomatici e dei suscettibili a fine anno scolastico. Lo stesso è stato fatto per la simulazione della ripresa delle attività didattiche in base a quanto sancito nel DPCM. L'analisi è stata condotta considerando diversi valori di ϕ relativi a un range che va dai 4 a 90 giorni.

I valori ottenuti dalla funzione di ottimizzazione Ω calcolata sui sei calendari sono stati messi in relazione alla quota percentuale di giorni a distanza programmati per individuare quale tra i calendari scelti è preferibile. Inoltre un confronto tra le selezioni fatte aiuta a capire se tra le selezioni ce n'è (almeno) una che approssima la soluzione ottimale: possiamo capirlo osservando la presenza di un cambio di monotonia passando da una selezione all'altra.

Nelle immagini sono esposti gli esiti del processo di ottimizzazione:

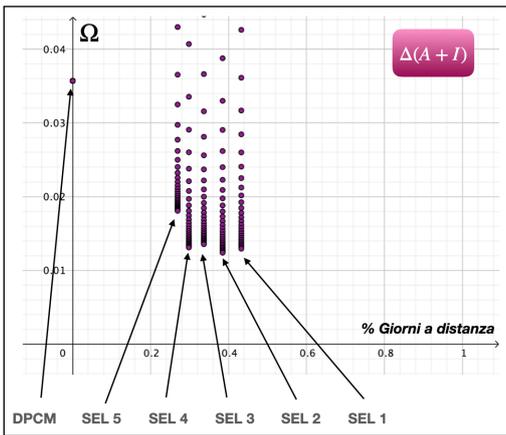


Figura 8: confronto tra soluzioni ottimali rispetto al picco totale di positivi

Ogni fila di punti in verticale fa riferimento ad un calendario scelto tra i 5 proposti e i suoi punti si trovano tanto più in basso quanto più la scuola è considerata sicura, nel senso in cui è stato introdotto il parametro ϕ . Dal confronto tra le 4 immagini si può stabilire che il migliore tra i calendari proposti sia quello corrispondente alla selezione 2, che ha il 60% delle settimane in presenza.

Nelle figura dalla 8 alla 11 sono riportate in orizzontale la quota percentuale di giorni in cui sono previste attività a distanza e in verticale il valore percentuale della funzione di ottimizzazione Ω , che considera tanto la minor esposizione al rischio sanitario quanto la minor quantità di giornate "a distanza" da svolgere. Un calendario che prevede tutti i giorni in presenza - e di conseguenza zero giorni a distanza - vedrà rappresentati nel piano i punti relativi al suo punteggio ottimale sull'asse verticale in quanto la quota percentuale di giorni in cui si svolgono attività completamente a distanza è 0%.

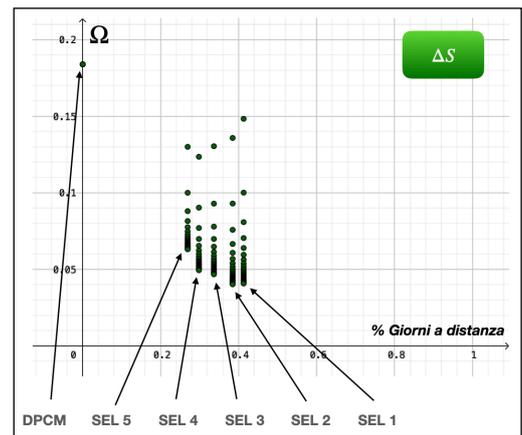


Figura 9: confronto tra soluzioni ottimali rispetto ai suscettibili a fine anno scolastico

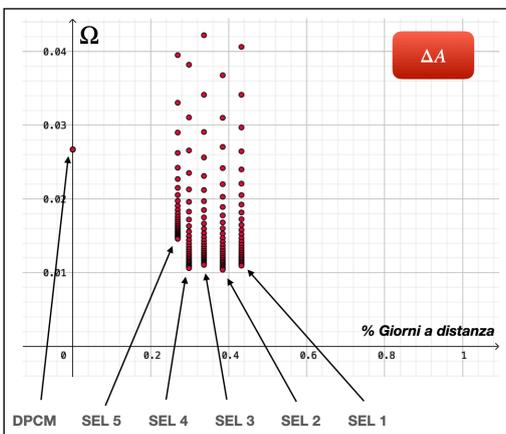


Figura 10: confronto tra soluzioni ottimali rispetto al picco di asintomatici

Seguendo questa procedura è possibile individuare un buon calendario, e nel dettaglio confrontare il livello di rischio a cui ci si espone con la scelta di determinati calendari. È interessante notare come la scelta di un buon calendario influenzi il rischio sui picchi solo a fronte di scuole sicure (perte destra del grafico). Il modello ci sta dicendo che se le scuole sono posti poco sicuri da un punto di vista epidemiologico, allora una selezione

Un confronto analogo tra i calendari è rappresentato nella Figura 12 in cui il confronto tra i valori della funzione di ottimizzazione Ω è mediato da un gradiente di colore che va dal rosso (soluzione non ottimale) al verde (soluzione ottimale) in corrispondenza dei possibili valori crescenti di ϕ .

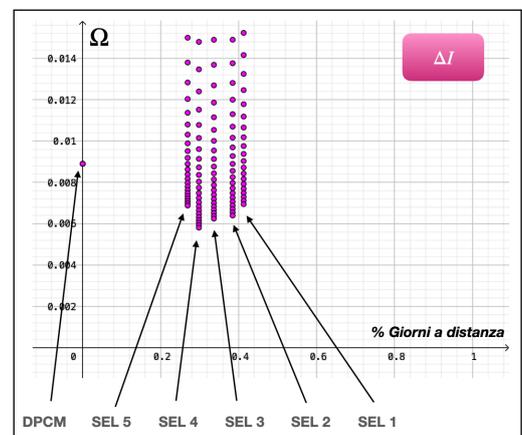


Figura 11: confronto tra soluzioni ottimali rispetto al picco di sintomatici

attenta del calendario non influisce sulla minimizzazione del rischio, cioè che si fanno più preponderanti i fattori di rischio esterni. Viceversa, scuole sicure ci permettono di intervenire in maniera attenta e mirata con una programmazione delle settimane da svolgere in presenza in maniera da contenere nel miglior modo possibile la diffusione del contagio e la quantità di giorni a distanza.

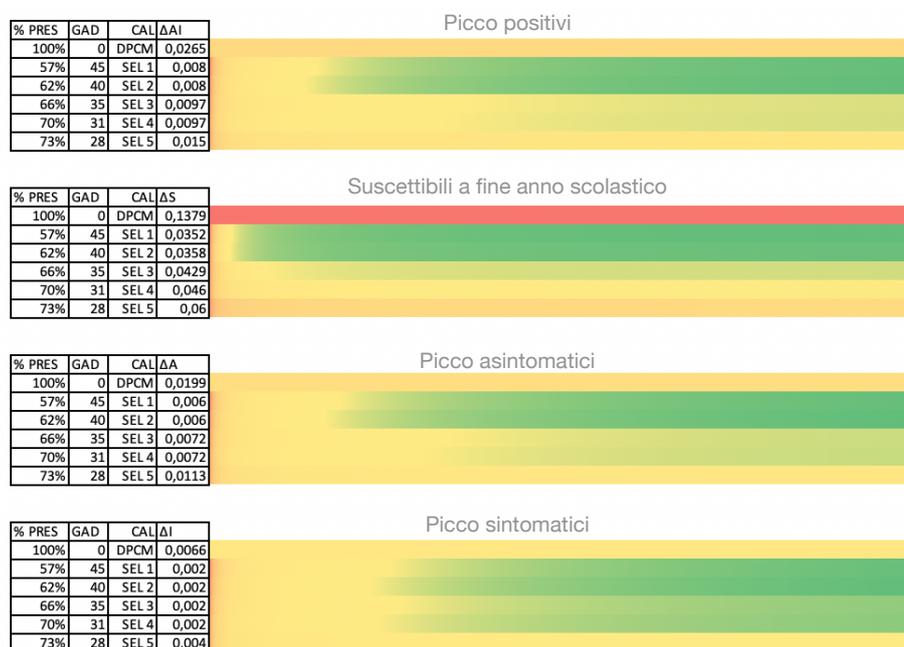


Figura 12: confronto tra i processi di ottimizzazione dei calendari esaminati

L'individuazione di una selezione ottimale tramite la funzione Ω può essere di aiuto, ma non deve essere l'unica strada da seguire. Piccole differenze rispetto alla soluzione ottimale possono essere dettate da altre necessità. Inoltre, le simulazioni qua condotte fanno riferimento alla Regione Piemonte e sono elaborate in conseguenza della reperibilità dai dati. Per questi motivi, insieme alla prospettiva dell'arrivo di un vaccino, sembra più opportuno usare la selezione numero 5 come proposta di rientro ottimale alle attività didattiche in presenza.

Si tratta di un calendario che prevede la frequenza in presenza per il 73% dei giorni rimanenti, con solo il 20% dei giorni in cui ricorrere a una didattica a distanza alternata e il 7% dei giorni in cui ricorrere alla totale didattica a distanza.

APPENDICE 1

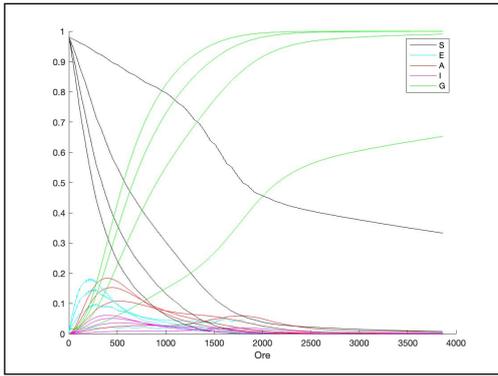


Fig 1: effetto di η sul calendario in DIP

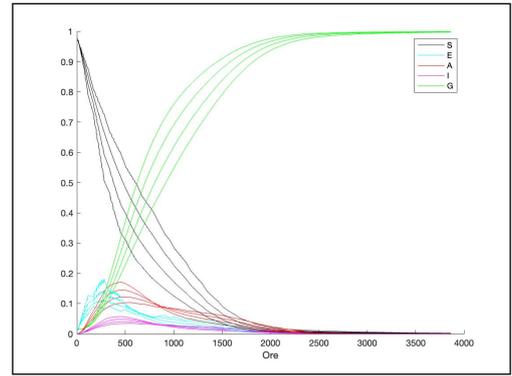


Fig 2: effetto di c sul calendario in DIP

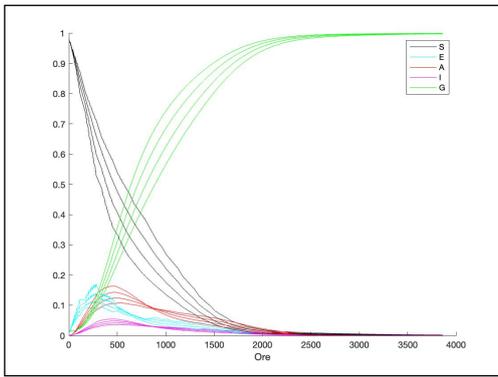


Fig 3: effetto di θ sul calendario in DIP

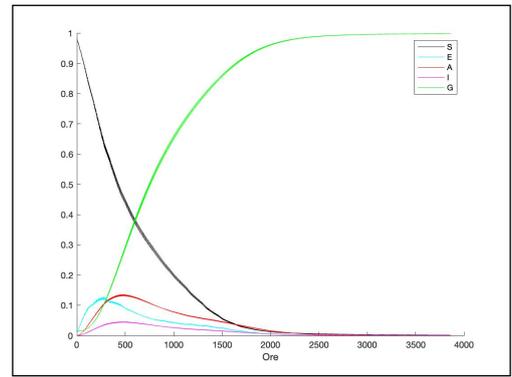


Fig 4: effetto di σ sul calendario in DIP

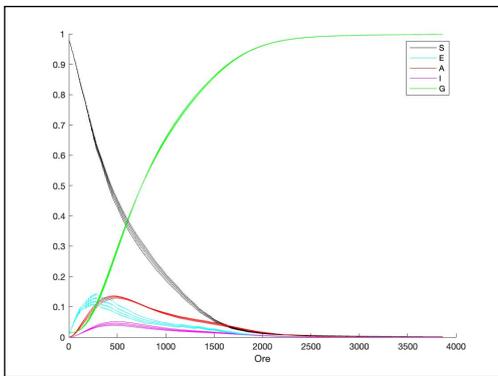


Fig 5: effetto di α sul calendario in DIP

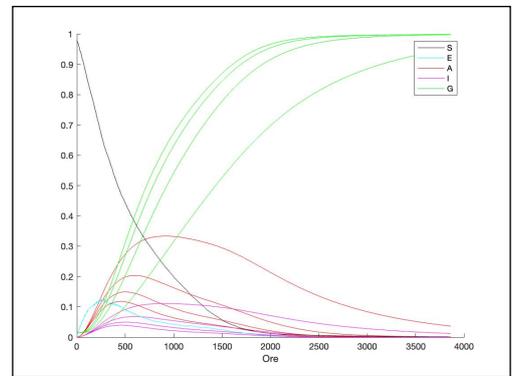


Fig 6: effetto di γ sul calendario in DIP

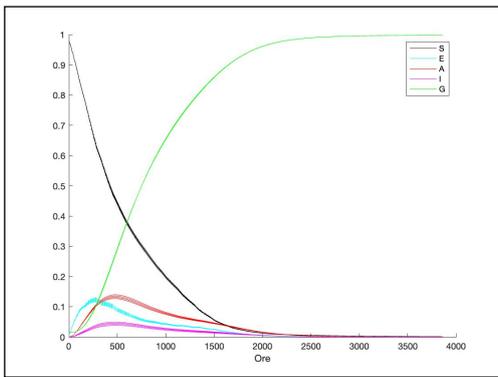


Fig 7: effetto di μ sul calendario in DIP

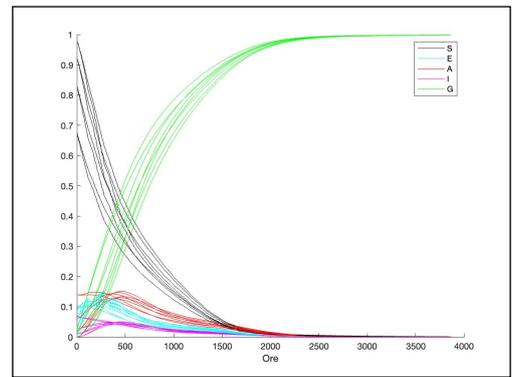


Fig 8: effetto delle condizioni iniziali sul calendario in DIP

Bibliografia

- Asadi, S., C. D. Cappa, S. Barreda, A. S. Wexler, N. M. Bouvier and W. D. Ristenpart (2020). "Efficacy of masks and face coverings in controlling outward aerosol particle emission from expiratory activities." Scientific Reports **10**(1): 15665.
- Backer, J. A., D. Klinkenberg and J. Wallinga (2020). "Incubation period of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infections among travellers from Wuhan, China, 20-28 January 2020." Euro surveillance : bulletin Europeen sur les maladies transmissibles = European communicable disease bulletin **25**(5): 2000062.
- Basnarkov, L. (2020). "SEAIR Epidemic spreading model of COVID-19." Chaos, Solitons & Fractals: 110394.
- Cooper, I., A. Mondal and C. G. Antonopoulos (2020). "A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities." Chaos, Solitons & Fractals **139**: 110057.
- Del Valle, S., J. Hyman, H. Hethcote and S. G. Eubank (2007). "Mixing patterns between age groups in social networks." Social Networks **29**: 539-554.
- Franceschi, V. B., A. S. Santos, A. B. Glaeser, J. C. Paiz, G. D. Caldana, C. L. Machado Lessa, A. de Menezes Mayer, J. G. Kühle, P. R. Gazzola Zen, A. Vigo, A. T. Winck, L. N. Rotta and C. E. Thompson (2020). "Population-based prevalence surveys during the COVID-19 pandemic: a systematic review." medRxiv: 2020.2010.2020.20216259.
- Gandolfi, A. (2021). "Planning of school teaching during Covid-19." Physica D: Nonlinear Phenomena **415**: 132753.
- He, S., Y. Peng and K. Sun (2020). "SEIR modeling of the COVID-19 and its dynamics." Nonlinear Dynamics **101**(3): 1667-1680.
- Howard, J., A. Huang, Z. Li, Z. Tufekci, V. Ždímal, H.-M. Westhuizen, A. Delft, A. Price, L. Fridman, L.-H. Tang, V. Tang, G. Watson, C. Bax, R. Shaikh, F. Questier, D. Hernandez, L. Chu, C. Ramirez and A. Rimoin (2020). Face Masks Against COVID-19: An Evidence Review.
- Leung, K., M. Jit, E. H. Y. Lau and J. T. Wu (2017). "Social contact patterns relevant to the spread of respiratory infectious diseases in Hong Kong." Scientific Reports **7**(1): 7974.
- Luo, K., Z. Lei, Z. Hai, S. Xiao, J. Rui, H. Yang, X. Jing, H. Wang, Z. Xie, P. Luo, W. Li, Q. Li, H. Tan, Z. Xu, Y. Yang, S. Hu and T. Chen (2020). "Transmission of SARS-CoV-2 in Public Transportation Vehicles: A Case Study in Hunan Province, China." Open Forum Infectious Diseases **7**(10).
- Mwalili, S., M. Kimathi, V. Ojiambo, D. Gathungu and R. Mbogo (2020). "SEIR model for COVID-19 dynamics incorporating the environment and social distancing." BMC research notes **13**(1): 352-352.
- Piemonte, R. (2020). "Coronavirus: gli aggiornamenti dalla Regione Piemonte." from <https://www.regione.piemonte.it/web/pinforma/notizie/coronavirus-gli-aggiornamenti-dalla-regione-piemonte>.
- Prem, K., A. R. Cook and M. Jit (2017). "Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data." PLOS Computational Biology **13**(9): e1005697.
- Tsay, C., F. Lejarza, M. A. Stadtherr and M. Baldea (2020). "Modeling, state estimation, and optimal control for the US COVID-19 outbreak." Scientific Reports **10**(1): 10711.

SECONDO CICLO DI ISTRUZIONE

PROPOSTA DELL'USR PIEMONTE PER UNA PIANIFICAZIONE STRATEGICA DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE

***PREVENIRE L'INTERRUZIONE
DELLA FREQUENZA IN PRESENZA***



PIANIFICAZIONE STRATEGICA DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE

LA NOSTRA STRATEGIA MIRA AD OTTIMIZZARE LE SCELTE

Massimizzando la frequenza in presenza e proteggendo la salute di tutti, consapevoli del fatto che azzerare i rischi è impossibile e che si continuerà a convivere col virus per qualche mese.

Valutando la complessità di interconnessione tra scuola, servizi di trasporto e logistica sanitaria per testing e tracciamento.

Tenendo conto di limiti e vincoli di tutti i sistemi.

PIANIFICARE LA PRESENZA

Utilizzo dei modelli matematici SIR – SEIR - SEAIR

SIR

- Suscettibili
- Infetti
- Rimossi

SEIR

- Suscettibili
- Esposti
- Infetti
- Rimossi

SEAIR

- Suscettibili
- Esposti
- Asintomatici
- Infetti
- Rimossi

PIANIFICARE LA PRESENZA

Utilizzo dei modelli matematici SIR –SEIR - SEAIR

- Il modello SIR (Suscettibili, Infetti, Rimossi) e le sue evoluzioni permettono di descrivere la dinamica di un contagio. I modelli SEIR e SEAIR entrano più nel dettaglio introducendo nuove categorie (Esposti e Asintomatici) che permettono una descrizione più precisa della progressione temporale del contagio.
- È possibile guardare strategicamente avanti nel tempo, con incertezze e rischi.
- E' stato modificato il modello SEAIR per simulare l'andamento del contagio in ambito scolastico.
- Si è tenuto conto di fattori esterni alla scuola, ma soprattutto dei trasporti, del tempo scuola e del supporto del comparto sanitario.

PIANIFICARE LA PRESENZA

TEMPO SCUOLA e CALENDARIO SCOLASTICO

- Il modello creato permette di sperimentare alcuni interventi sul tempo scuola.
- L'obiettivo è quello di trovare una scansione delle settimane da svolgere in didattica in presenza - DIP - in modo da rendere minimo il rischio per la salute delle persone che vanno a scuola e insieme minimo il numero di giorni in cui si ricorre alla didattica digitale integrata - DDI.
- Con una ripartenza a gennaio 2021 si tratta di individuare, tra i tanti possibili calendari settimanali, quelli che possono tradurre al meglio l'obiettivo.

PIANIFICARE LA PRESENZA

Intervenire sul tempo scuola: COME SCEGLIERE?

- Tenendo conto di tutti i parametri inseriti nel modello, fra i quali la **possibile evoluzione** della curva epidemica, **l'andamento stagionale dell'epidemia**, **le condizioni previste per il trasporto** e i fattori di contagiosità dell'**out-school** degli studenti, si sono individuate, tra le due posizioni opposte totale didattica in presenza e totale didattica a distanza, **5 soluzioni intermedie**
- **E' stato valutato il livello di rischio complessivo confrontando gli indicatori relativi al picco di positivi e alla esposizione al virus a fine anno scolastico di ogni soluzione intermedia con quella di riferimento – la totale didattica a distanza.**

PIANIFICARE LA PRESENZA

Le 5 soluzioni

Ogni calendario prevede una turnazione di due gruppi (di classi o di studenti) uniformi per numero che seguono due calendari organizzati in modo che sia prevista una quota iniziale di DIP più rada (in rosso) che diventa alternata settimanalmente (in giallo) per poi passare a una frequenza in presenza collettiva di tutti gli studenti (in verde).

1

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 55% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 55% |

2

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 60% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 60% |

3

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |

4

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 64% |

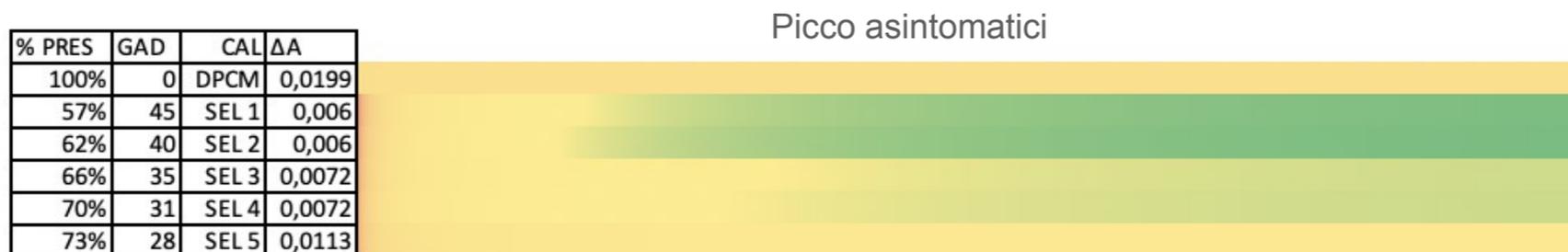
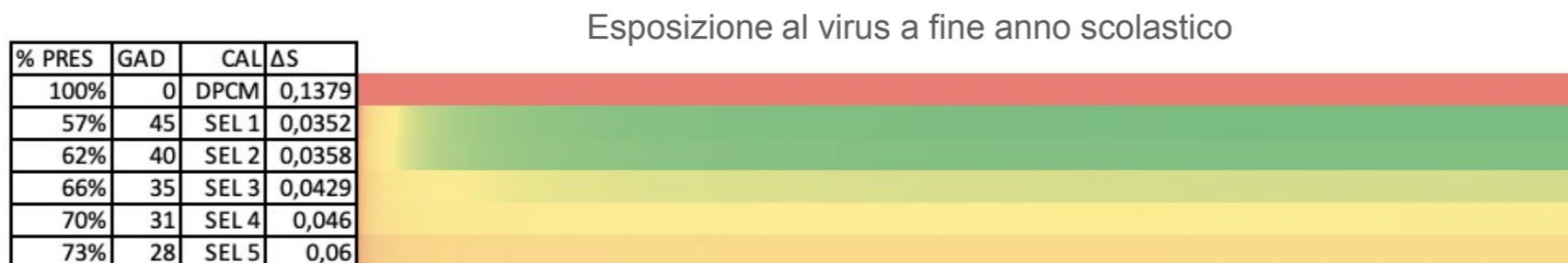
5

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 73% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 73% |

PIANIFICARE LA PRESENZA

Le 5 soluzioni

Ogni blocco corrisponde a un indicatore di rischio. Le linee colorate corrispondono ai differenti calendari: i colori passano dal verde (miglior scelta) al rosso (peggior scelta).



PIANIFICARE LA PRESENZA

Quale proposta per la ripresa

- La procedura di ottimizzazione ci può essere di aiuto, ma nella realtà complessa che caratterizza il mondo della scuola, non possiamo ridurre le nostre decisioni a ciò che ci dicono solo i numeri.
- Strategie che differiscono di poco rispetto alla soluzione ottimale possono essere preferite in virtù di altri aspetti che non possono essere preventivati, come la portata di una eventuale terza ondata o l'arrivo del vaccino.
- La scelta ricade allora sull'ultimo dei calendari proposti, il n 5, , che prevede una quota di giornate in presenza pari al 73% del totale e solo il 7% di giornate in completa DDI.

5

| GR | 11/1 | 18/1 | 25/1 | 1/2 | 8/2 | 15/2 | 22/2 | 1/3 | 8/3 | 15/3 | 22/3 | 29/3 | 5/4 | 12/4 | 19/4 | 26/4 | 3/5 | 10/5 | 17/5 | 24/5 | 31/5 | 7/6 | % | |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|---|-----|
| A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 73% |
| B | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 73% |