



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M.FANNO"

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

"DISTRIBUZIONE EQUA ED EFFICACE DEI VACCINI COVID-19"

RELATORE:

CH.MO PROF. ANTONIO NICOLÒ

LAUREANDO: FILIPPO GERVASUTTI

MATRICOLA N. 1188613

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
1. DISPONIBILITÀ INTERNAZIONALE	2
1.1 Scarsità.....	2
1.2 Equità nell'accesso.....	3
1.3 Progetto COVAX.....	4
1.3.1 <i>Incentivo alla partecipazione: Teoria dei giochi</i>	6
1.3.2 <i>Effettiva partecipazione al progetto</i>	7
2. DISTRIUBUZIONE INTERNA EFFICACE.....	10
2.1 Premessa.....	10
2.2 Modello per l'ottimalità distributiva	10
2.3 Dati.....	13
2.3.1 <i>Valore statistico di una vita</i>	14
2.3.2 <i>Tasso di infezione</i>	15
2.4 Risultati	16
3. DISTRIBUZIONE INTERNA EQUA	18
3.1 Equità per i gruppi svantaggiati	18
3.2 Sistemi di priorità.....	20
3.3 Reserve System.....	20
3.4 Deferred acceptance algorithm	22
3.4.1 <i>Sequential reserve matching</i>	24
3.4.1 <i>Smart reserve matching</i>	25
CONCLUSIONE	26
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	27
Bibliografia	27
Sitografia.....	28

INTRODUZIONE

L'epidemia Covid-19 imperversa da ormai un anno e mezzo a livello globale. I danni causati sono stati ingenti sia sotto il profilo umano che quello economico. Sono state registrate 3 milioni e mezzo di morti, i mercati finanziari hanno subito il peggior crollo dal 1987 e la sospensione di gran parte delle attività lavorative ha portato a gravi disagi. Nel caso dell'Italia il PIL del 2020 è calato del 9% su base annua e vi sono stati 130 mila lutti. Lo strumento più importante per il contenimento, e l'eventuale neutralizzazione, del virus è costituito dai vaccini. A partire dalla prima iniezione dell'8 Dicembre dell'anno scorso, sino all'avanzare sempre più rapido delle campagne vaccinali di questi mesi, molte persone e nazioni stanno godendo dei benefici di questa risorsa fondamentale. Purtroppo la fine della lotta al Coronavirus è ancora lontana vista la scarsità dell'offerta di vaccini in rapporto alla loro domanda mondiale: in svariati paesi, soprattutto poco sviluppati, solo ora vengono somministrate le prime dosi.

L'obiettivo di questo elaborato è di evidenziare i principi guida per un'allocazione dei vaccini efficace ma allo stesso tempo equa e giusta. Questi precetti sono inoltre confrontati colle effettive scelte dei *decision maker* più importanti. A questo scopo vengono analizzati e discussi principalmente tre modelli, uno per capitolo. Il primo capitolo è dedicato all'importanza di un accesso alle cure equo a livello internazionale. È di fondamentale importanza che nessuna nazione sia sfavorita nel completamento della propria campagna vaccinale dall'egoismo di altre. In questo capitolo viene discusso il progetto COVAX attraverso la prospettiva della Game Theory offerta da McAdams: sono discussi gli incentivi ed i costi derivanti dalla partecipazione che si trova ad affrontare ogni potenziale contribuente e vengono trattate le modalità principali per far sì che l'esito migliore si avveri. Nel secondo e terzo capitolo la discussione passa dal livello internazionale a quello nazionale. Nel primo di questi due capitoli il tema centrale è l'efficacia della distribuzione nei primi mesi di emergenza. La discussione è centrata sul modello per l'allocazione ottima proposto da Babus, Das e Lee. L'obbiettivo è quello di trovare politiche e priorità che consentano di minimizzare i danni causati dal virus in presenza di risorse scarse. L'ultimo capitolo si concentra sul come unire le diverse necessità di equità, giustizia ed efficacia dell'allocazione per fare in modo che nessuna fascia di popolazione venga trascurata. Esistono infatti gruppi di persone che hanno sofferto conseguenze più gravi a causa della pandemia e che sono oggetto di discriminazioni pregresse. Per trovare un'allocazione che rispetti questi principi viene discusso il *reserve system* proposto da Pathak e collaboratori nella sua prima formalizzazione generale. Questo metodo si contrappone infatti ai classici metodi distributivi nel campo di risorse mediche basati su di una singola classifica prioritaria.

1. DISPONIBILITÀ INTERNAZIONALE

1.1 Scarsità

Almeno sino alla fine del 2021 il vaccino Covid-19 rimarrà una risorsa scarsa rispetto alla sua domanda aggregata. A Marzo 2021 sono state complessivamente prodotte circa 410 milioni di dosi. Pfizer è in testa con 119 mln, seguito da Sinovac¹ con 91 mln ed AstraZeneca con 83.

I vaccini di tutti i *top producer* ad oggi sono a doppia dose: per completare la vaccinazione di un individuo risultano necessarie due iniezioni. Questo rappresenta un duplice ostacolo per una campagna vaccinale: innanzitutto ogni individuo necessita di due dosi, in secondo luogo i sistemi logistici devono provvedere a renderle disponibili in due diversi momenti. L'unico vaccino a singola dose ad essere stato autorizzato e distribuito è quello Johnson & Johnson, di cui 8 milioni di dosi sono state distribuite negli Stati Uniti ed alcune migliaia nell'UE. Le istituzioni statunitensi Food and Drug Administration (FDA) e Centres for Disease Control and Prevention (CDC) hanno però deciso per la sospensione temporanea del suo utilizzo il 13 Aprile scorso, in modo da poter investigare su sei casi di disturbi della coagulazione.

L'obiettivo dei piani di distribuzione, dopo il contenimento della mortalità nei primi mesi, è il raggiungimento dell'immunità di gregge (Fontanet & Cauchemez, 2020). Questa conferisce ad un gruppo di individui la capacità di resistere all'attacco di un virus. Per il suo raggiungimento è necessario che una grande percentuale del gruppo sia immune: un individuo si ritiene immune se è stato vaccinato oppure se è stato infettato ed è poi guarito. Le stime per la soglia di popolazione minima nel caso del Covid-19 si aggirano attorno al 70%, tuttavia l'Organizzazione Mondiale della Sanità conferma² che non vi è ancora una soglia certa.

Da questi elementi risulta chiaro come la domanda per questo bene sia al momento largamente superiore all'offerta. Si stima che non sarà prodotto un numero di dosi sufficienti a coprire l'intera popolazione mondiale sino al 2023. Va tuttavia riconosciuto che le compagnie produttrici stanno rapidamente incrementando le quantità di dosi prodotte grazie allo sfruttamento di economie di scala e di esperienza. Entro metà Luglio sia gli Stati Uniti che gli stati membri dell'Unione Europea prevedono di avere a disposizione un numero di dosi sufficiente a coprire completamente il 70% delle rispettive popolazioni.

¹ La Sinovac Biotech è un'azienda biofarmaceutica cinese con sede a Pechino.

² Stando all'ultimo rapporto a riguardo dell'OMS del Dicembre 2020.

1.2 Equità nell'accesso

Lo sviluppo e la produzione del vaccino non sono le uniche componenti necessarie per mettere fine alla pandemia. Il vaccino dovrebbe essere reso disponibile a tutti i governi ad un prezzo accessibile, massimizzando la salute pubblica ed allo stesso tempo seguendo principi di equità internazionale (McAdams, et al., 2020). Quando un bene ha una rilevanza così importante e peculiare è chiaro che la sua distribuzione non possa essere affidata a semplici meccanismi di mercato che andrebbero ad ignorare svariate esternalità e caratteristiche dello stesso.

In assenza di interventi si prospetterebbe una “tragedia dei comuni”, espressione coniata dall’ecologista Hardin (1968) per indicare una situazione in cui vi è un bene comune ed in parte condiviso, che presenta valore per tutti, ma il cui eccessivo utilizzo egoistico da parte di pochi individui può ridurne il valore complessivo. Nelle parole di Hardin “freedom in a commons brings ruin to all.”

Nel contesto dei vaccini un simile fenomeno si è verificato e si sta tutt’ora verificando nella forma del *vaccine nationalism*, ovvero il comportamento di alcuni paesi focalizzato sull’aggiudicarsi il maggior numero di dosi possibile attraverso contratti bilaterali coi produttori, senza riguardo per l’accesso alla risorsa di altri paesi con meno potere contrattuale.

Tabella 1: esempi di paesi sviluppati e numero di dosi preordinate³

Purchaser (country)	Vaccine manufacturer	Number of doses committed by manufacturer to purchaser, millions	Total number of doses committed to purchaser, millions
USA	Oxford University	300	810
	Janssen (J&J)	100	
	Moderna	100	
	Novavax	110	
	Pfizer	100	
	Sanofi-GSK	100	
Canada	Novavax	76	358
	Medicago	76	
	Sanofi-GSK	72	
	Moderna	56	
	Janssen (J&J)	38	
	Oxford University	20	
	Pfizer	20	
UK	Oxford University	100	340
	Novavax	60	
	Sanofi-GSK	60	
	Valneva	60	
	Janssen (J&J)	30	
	Pfizer	30	
Japan	AstraZeneca	120	240
	Pfizer	120	

³ Fonte: BMJ Global Health del 30 Novembre 2020.

Nonostante tutti i vaccini elencati in tabella 1 siano a doppia dose, risulta chiaro che in tre casi su quattro, escluso di poco il Giappone, il numero di dosi è superiore al doppio della popolazione. Nel caso della Gran Bretagna in particolare il numero di dosi preordinate è pari a 5 volte la popolazione. Tali eccessi si spiegano in parte in un'ottica di auto-assicurazione. Gli ordini risalgono a mesi in cui l'efficacia e la sicurezza offerti dai singoli produttori non erano ancora state verificate con certezza, perciò paesi come la GB e gli USA hanno ridotto il rischio legato al funzionamento del singolo vaccino attraverso un'ampia diversificazione dei propri ordini. Questa forma di assicurazione contro il fallimento è però chiaramente inefficiente e sfavorisce l'accesso dei paesi meno ricchi alle dosi necessarie per salvaguardare le proprie popolazioni. Fino a Febbraio 2021 si stima che il 56% delle dosi totali vendute sia stato acquistato esclusivamente dai paesi più sviluppati, i quali rappresentano il mero 15% della popolazione mondiale.

Da un punto di vista meno miope e più globale è fondamentale che ogni paese, anche povero o in via di sviluppo, riesca a portare a termine con successo le proprie campagne vaccinali nel minor tempo possibile. Quando è permesso al virus di prosperare in zone non coperte dall'immunità di gregge, e, nel caso dei paesi poco sviluppati, nemmeno coperte da igiene e sistemi ospedalieri adeguati, il sorgere di nuove varianti diventa una possibilità sempre più concreta. Questo è accaduto nel caso delle varianti Brasiliana, Sudafricana ed Indiana, che, una volta sviluppatesi in regioni con poche misure di prevenzione, sono tornate a porre nuove difficoltà ai paesi con campagne vaccinali già ben avviate. L'assenza di lungimiranza nell'approvvigionamento al vaccino rischia in questo modo di penalizzare gli stessi paesi che inizialmente hanno tentato di difendersi in modo più accanito.

1.3 Progetto COVAX

Per ovviare ai problemi sopracitati di *vaccine nationalism* e bisogno di equità, è stato creato il programma COVID-19 Vaccines Global Access (COVAX), ideato e guidato congiuntamente da OMS, Global Alliance for Vaccines and Immunization (GAVI)⁴ e Coalition for Epidemic Preparedness Innovations (CEPI)⁵. Questo progetto si pone l'obiettivo di sfruttare le risorse internazionali per favorire l'accesso equo e rapido a vaccini, equipaggiamenti e trattamenti anti Covid-19 su scala mondiale, in particolare ai paesi più bisognosi.

Il progetto COVAX si fonda sulla premessa dell'impossibilità di impedire ai paesi più ricchi di agire nel proprio interesse, esso cerca perciò di incentivare questi ultimi alla partecipazione al programma

⁴ Partenariato pubblico-privato fondato nel 2000 collo scopo di migliorare l'accesso all'immunizzazione in paesi poveri. Tra i partecipanti sono compresi: UNICEF, Banca Mondiale, Fondazione Bill & Melinda Gates e numerosi produttori di vaccini.

⁵ Fondazione che raccoglie donazioni dal pubblico e privato per finanziare progetti di ricerca indipendenti per lo sviluppo di vaccini contro malattie infettive emergenti. Tra i fondatori sono compresi: India, Norvegia, Forum Economico Mondiale e Fondazione Bill & Melinda Gates.

in parallelo all'utilizzo di contratti bilaterali coi produttori. In un mondo ideale di *first best* tutti gli investimenti contro il Covid-19 sarebbero indirizzati allo sforzo globale. Nel mondo reale però ogni nazione è prigioniera dei suoi interessi ed è raggiungibile solamente una soluzione di *second best*: una parte degli investimenti sono utilizzati per la salvaguardia immediata dei propri interessi, mentre un'altra parte va a contribuire agli sforzi coordinati a livello globale per proteggere tutti.

Più concretamente il COVAX è un meccanismo di approvvigionamento internazionale per risorse anti Covid-19: sono raccolti sia i contributi dei partecipanti che donazioni da terzi, i fondi vengono poi raggruppati ed utilizzati per garantire un accesso equo per tutti alle risorse mediche. L'iniziativa punta a fornire ai paesi partecipanti 2 miliardi di dosi entro la fine del 2021: tutte le dosi a disposizione saranno allocate proporzionalmente alla popolazione di ciascun paese. Il 5% delle dosi disponibili sarà invece mantenuto in una riserva cuscinetto per l'utilizzo in aree con incrementi dei contagi fuori controllo.

Per la partecipazione al COVAX sono disponibili due metodi di accesso, basati sulle risorse economiche del paese (Gavi, 2020):

- Paesi ricchi: partecipano in qualità di paesi *self-financing*. Si impegnano a comprare un numero di dosi, attraverso l'intermediazione dell'organizzazione, sufficienti a vaccinare una percentuale che può variare dal 10 al 50% della propria popolazione. In cambio è necessario un contributo che varia in base al tipo di accordo: è più alto in caso di accordo opzionale, che permette all'acquirente di scegliere in ogni momento di non ricevere più le dosi di un determinato produttore, è invece più basso in caso di accordo stringente che non permette variazioni ai piani prestabiliti.
- Paesi non ricchi: partecipano come paesi *funded*, le loro spese sono infatti coperte da Aiuti Pubblici allo Sviluppo (APS), consistenti in *soft-loans* e contributi a fondo perduto, messi a disposizione dal COVAX Advanced Market Commitment (AMC), ente intermediario tra donatori e beneficiari.

Un beneficio ulteriore per gli aderenti *self-financing* al progetto, rispetto a quello della riduzione del diffondersi di nuove varianti, è l'assicurazione indiretta. Se una nazione si servisse esclusivamente di grandi contratti bilaterali andrebbe in contro a due rischi: il primo rischio è legato alla possibile inefficacia di parte del portafoglio di vaccini, il secondo è invece legato al mancato rispetto di quantità e tempistiche di consegna da parte del produttore. Colla partecipazione al COVAX un paese diversifica il proprio approvvigionamento contro questi rischi poiché avrà in ogni caso a disposizione dosi a consegna ed efficacia quasi certe, con le quali vaccinare dal 10 al 50% della propria popolazione.

1.3.1 Incentivo alla partecipazione: Teoria dei giochi

Per comprendere meglio le scelte che i *decision maker* più importanti si trovano a dover affrontare, McAdams et al. (2020) propongono un'analisi attraverso la teoria dei giochi. Questa disciplina studia e analizza le decisioni individuali di soggetti, detti giocatori, in situazioni di conflitto o interazione strategica con altri soggetti rivali: le azioni di ogni giocatore possono influire sui risultati conseguibili dagli altri e lo scopo di ogni decisore è massimizzare la propria utilità (Katz et al., 2015). Nel contesto della sanità la teoria dei giochi è stata già utilizzata per analisi riguardanti ad esempio: le scelte di prescrizione di antibiotici da parte di medici in una situazione di aumentata resistenza dei batteri, il comportamento dei genitori sotto una politica di vaccinazione volontaria dei figli contro malattie infantili.

Nel caso in questione l'ecosistema di gioco è rappresentato dalle scelte su sviluppo, produzione e distribuzione dei vaccini Covid-19 la cui efficacia è in parte incerta. I giocatori sono costituiti da: paesi ricchi, produttori di vaccini ed istituzioni sanitarie globali come OMS e Gavi. I paesi non ricchi non sono considerati come giocatori in quanto, non essendo in grado di influenzare il gioco colle proprie decisioni, subiscono meramente le conseguenze delle decisioni altrui.

Consideriamo N paesi ricchi, contrassegnati da $i = 1, 2, \dots, N$: ognuno di questi sceglie se mettere in atto un contributo o meno. Per contributo si intende un'azione di costo di $C_i \geq 0$ per il paese che la attua e di beneficio $B_j \geq 0$ per ogni paese $j = 1, 2, \dots, N$. Concretamente il beneficio derivante dal contributo è riassumibile nella riduzione della durata totale della pandemia, godono quindi dell'effetto delle contribuzioni tutti i paesi del modello.

La combinazione tra costo e beneficio del contributo delinea tre possibili casi:

- Contributore affidabile: se $B_{ii} > C_i$ allora il paese i è incentivato individualmente al contributo.
- Contributore non affidabile: se $\sum_j B_{ij} > C_i > B_{ii}$ allora il paese i non ha un incentivo individuale a contribuire, ma la sua contribuzione sarebbe socialmente efficiente.
- Contributore indesiderato: se $C_i > \sum_j B_{ij}$ allora il contributo del paese i non è socialmente efficiente. Questo caso non sembra però essere applicabile alla realtà del COVAX.

Si introducono ora due ipotesi. La prima prevede che tutti i paesi del modello siano contributori non affidabili, in modo da analizzare la situazione più complicata dal punto di vista degli incentivi. La seconda è invece semplificatoria e richiede che tutti i costi ed i benefici siano simmetrici, quindi $B_{ij} = B$ per ogni i, j e $C_i = C$ per ogni i .

In questo contesto ogni paese giocatore cerca di massimizzare il suo *net payoff*, denotato da Π_i , corrispondente a tutti i benefici che esso riceve meno il costo del suo contributo. Se K giocatori scelgono di contribuire allora ogni contribuente ottiene un *net payoff* $\Pi_i = KB - C$. L'ipotesi che raggruppava ogni nazione sotto la categoria di contribuente non affidabile si traduce ora in $B < C < NB$, che riconferma come non vi sia un incentivo individuale ma collettivo.

In un equilibrio di Nash ogni giocatore attua la strategia ottima per lui stesso date le strategie degli altri giocatori. Nel modello vi è un unico equilibrio di Nash ed in esso ogni nazione, essendo un contribuente non affidabile per ipotesi, sceglie di non contribuire. Si prefigura in questo modo una situazione di tragedia dei beni comuni.

Una delle soluzioni al problema è rappresentata dalla possibilità di consentire ai paesi di agire in gruppo, come un singolo giocatore: ognuno di essi sceglierebbe di contribuire ottenendo così un *net payoff* $\Pi_i = NB - C$. Mettere in atto un simile tipo di coordinazione è però impraticabile nella realtà, ma rimangono comunque delle modalità per attuarla almeno parzialmente. Una prima modalità è costituita dalla coordinazione per mezzo di delegazioni internazionali, un cui esempio concreto è dato da 27 paesi europei che hanno scelto di contribuire al progetto COVAX in qualità dell'unico gruppo "Team Europe". Una seconda modalità attuabile consiste invece nel processo di *community self-enforcement*, descritto dalla economista Elinor Ostrom (1990). In questo processo la comunità riesce ad incentivare i propri membri all'azione socialmente efficiente attraverso norme comportamentali che si affermano in modo autonomo, per esempio norme che causano vergogna per il soggetto che non le rispetti. Nel contesto del programma COVAX questo meccanismo informale si realizza grazie alla pubblicazione, da parte delle fondazioni organizzatrici, della lista dei paesi che hanno contribuito. L'inserimento nella lista ha infatti portato prestigio internazionale a paesi come la Cina, mentre ha attirato critiche su paesi come gli Stati Uniti di Trump per la mancata partecipazione.

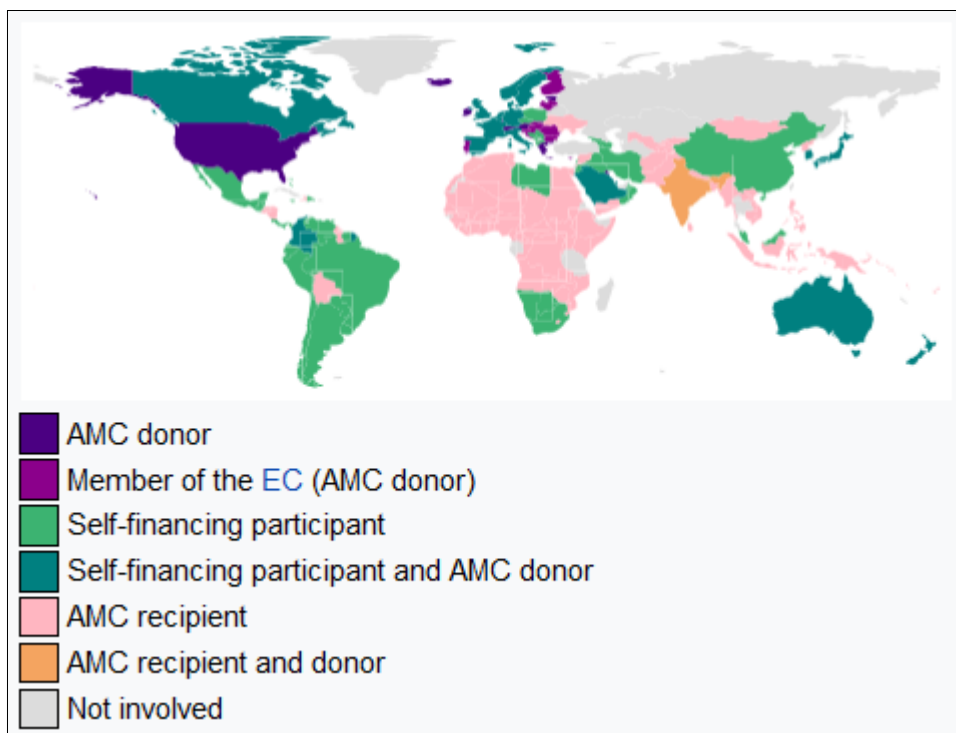
1.3.2 Effettiva partecipazione al progetto

Una volta analizzate le premesse legate all'iniziativa è utile osservare come queste si siano tradotte o meno in realtà effettiva. Complessivamente hanno aderito al progetto 172 economie, rappresentanti più del 70% della popolazione mondiale: di queste 80 appartengono alla categoria *self-financing* mentre 92 a quella *funded*. Il dato non comprende tuttavia i numerosi paesi che hanno scelto di partecipare in qualità di semplici donatori attraverso il meccanismo AMC. Grazie a questi fondi il progetto COVAX ha a disposizione per la distribuzione il portafoglio vaccinale più diversificato al mondo a cui si aggiungono altri 18 candidati vaccini in fase di test e valutazione.

Tra i contribuenti più importanti figura il sopracitato Team Europe. Attraverso questo team l'Unione Europea si è impegnata a conferire all'iniziativa € 2,2 miliardi. La Commissione Europea ha

dichiarato come il *vaccine nationalism* sia insensato nell'attuale contesto in cui nessuna nazione è autosufficiente. L'Europa si autodefinisce *global player*: riconoscendo che la propria immunità dipende da quella dei propri vicini si concentra sull'aiutare questi ultimi a costruire le proprie immunità. Pur essendo uno dei maggiori produttori di vaccini, con 60 mln prodotti nel solo mese di Marzo 2021, è uno dei più grandi di dosi: circa 2/3 delle dosi somministrate in Gran Bretagna fino allo scorso 8 Aprile sono state prodotte nell'UE. Per assicurare la vaccinazione delle popolazioni interne l'Unione si è comunque assicurata 1,5 miliardi di dosi. È stato inoltre costituito un meccanismo europeo di controllo delle esportazioni che richiede ai produttori un'autorizzazione per la consegna di ordini in uscita.

Immagine 1: mappa sulla partecipazione al COVAX⁶



Sotto l'amministrazione Trump gli USA avevano inizialmente rifiutato la partecipazione al progetto COVAX, l'amministrazione Biden ha invece annunciato l'intenzione di parteciparvi nel Gennaio 2021, tuttavia l'iscrizione formale non è ancora avvenuta. Nonostante questo gli Stati Uniti hanno comunque agito solidariamente per mezzo dell'approvazione congressuale di un contributo diretto di ben \$ 4 miliardi a favore di Gavi, che ha utilizzato i fondi per finanziare lo strumento AMC. Per quanto riguarda la partecipazione, l'iniziativa COVAX può essere certamente considerata come un successo. Vista la partecipazione sostanzialmente informale degli USA l'unico paese sviluppato a non aver mostrato alcun interesse è stato la Russia, come si può osservare nell'immagine 1.

⁶ Fonte: Wikipedia. Immagine basata sui dati OMS aggiornati ad Agosto 2020. Non si sono verificate ulteriori variazioni significative riguardanti i membri COVAX. Gli AMC recipient corrispondono a paesi *funded*.

Sotto il punto di vista della raccolta effettiva di fondi invece il quadro non è dei migliori: nonostante siano stati ricevuti in totale \$6,35 miliardi, la copertura delle spese previste per l'intero 2021 è ancora largamente incompleta. Come si evince dalla Tabella 2 il progetto COVAX si trova di fronte ad un gap complessivo tra spese previste e finanziamenti ricevuti di ben \$7 miliardi (Rouw et al., 2021).

Tabella 2: finanziamenti e spese del progetto COVAX divisi per campi d'azione.⁷

Table 4: COVAX Funding Targets and Gaps, 2020-2021							
COVAX Activity	Deliverable	2020 needs		2021 needs		Totals	
		Target	Gap	Target	Gap	Target	Gap
Research & development	Accelerate clinical trials to bring vaccine to licensure	\$1.595 billion	\$262 million	\$855 million	\$855 million	\$2.45 billion	\$1.117 billion
	Facilitate global Solidarity phase III trial for up to 10 candidates						
	Support regulatory networks						
Manufacturing and procurement	Invest in manufacturing and procure doses for AMC-eligible countries	\$2 billion	\$0	\$5 billion	\$4.6 billion	\$7 billion	\$4.6 billion
Allocation and delivery	Ensure equitable allocation through policy guidance	\$642 million	\$492 million	\$983 million	\$983 million	\$1.625 billion	\$1.475 billion
	Ensure country readiness for delivery						
	Provide country-level technical assistance						
TOTAL		\$4.237 billion	\$755 million	\$6.838 billion	\$6.438 billion	\$11.075 billion	\$7.192 billion

Passando infine ai risultati nel campo delle vere e proprie consegne di dosi, i dati relativi al Q1 2021 sono incoraggianti anche se bassi in quanto inferiori a quelli previsti in fase di pianificazione. Le operazioni distributive, stando alle previsioni Gavi, incrementeranno notevolmente solo nel Q3 e Q4 per raggiungere il pieno regime a fine 2021. Tra Febbraio e Marzo Ghana, Costa d'Avorio, Moldavia e Bosnia-Erzegovina hanno ricevuto complessivamente 1,2 milioni di dosi con cui dare inizio alla vaccinazione dei segmenti di popolazione a rischio più alto. Il numero di dosi consegnate può al momento sembrare gravemente insufficiente, va in ogni caso ricordato come molti dei paesi beneficiari non avrebbero potuto accedere autonomamente ai vaccini a causa dello scarsissimo potere contrattuale.

⁷ Fonte: Kaiser Family Foundation, Febbraio 2021.

2. DISTRIBUZIONE INTERNA EFFICACE

2.1 Premessa

Il modello che costituisce il perno di questo capitolo è stato pubblicato per la prima volta nell'Ottobre 2020. In particolare una delle ipotesi fissa la disponibilità dei vaccini a 60 milioni di dosi nel caso degli USA, sufficienti a coprire con una sola dose meno del 20% della popolazione. All'inizio di Maggio 2021 il 32% dei cittadini statunitensi è stato completamente vaccinato. Nonostante la rilevanza del modello potrebbe ormai sembrare grandemente ridotta, in realtà lo studio analizzato è ancora applicabile a molte realtà internazionali.

Il primo ambito di applicazione riguarda paesi con un avanzamento contenuto dei piani di distribuzione, come l'Italia, in cui alla stessa data solo il 10% della popolazione è stato completamente vaccinato: in realtà simili le indicazioni offerte dal modello possono essere utilizzate per valutare l'efficacia della distribuzione proprio mentre questa è in atto. Il secondo contesto, probabilmente il più rilevante, si riferisce a tutti quei paesi non ricchi in cui le prime dosi cominciano ad arrivare proprio in questi mesi, come ad esempio la Nigeria. È per questi casi che i principi delineati negli studi possono ancora essere utilizzati a priori per massimizzare l'efficacia delle campagne vaccinali, ancora in fase di pianificazione. Infine le prescrizioni che risultano da questo studio possono anche essere utilizzate per la valutazione a posteriori delle campagne vaccinali dei pochi paesi che si trovino già in uno stadio avanzato del processo, come USA, Gran Bretagna ed Israele.

2.2 Modello per l'ottimalità distributiva

Il modello per l'allocazione ottima dei vaccini di Babus, Das e Lee (2020) si prefigge l'obiettivo di minimizzare i costi economici e sanitari dovuti alla pandemia attraverso una distribuzione efficace delle dosi iniziali. L'ottimalità della distribuzione viene raggiunta attraverso l'assegnazione di priorità ai diversi gruppi della popolazione. Al governo è inoltre concessa la possibilità di interrompere determinate attività lavorative. L'ipotesi fondamentale dello studio riguarda la scarsità delle dosi disponibili: viene presa come riferimento la popolazione costituita dalla forza lavoro degli USA nel 2017 (180 milioni di individui circa) e viene ipotizzata una disponibilità pari a 60 milioni di dosi. Il modello viene infine elaborato sui primi due mesi di distribuzione.

Per segmentare la popolazione in gruppi con diverse priorità vengono utilizzate due variabili: l'occupazione I e l'età J . In questo modo ogni p_{ij} indica un gruppo di persone con un determinato lavoro i ed in una specifica fascia d'età j , con P appartenente a $R_+^{I \times J}$. Ogni persona nella categoria occupazionale i è associata ad un rischio di infezione r_i , così come ogni individuo nella fascia d'età

j presenta un costo di infezione c_j . Si introduce ora l'ipotesi secondo cui ogni individuo è suscettibile all'essere infettato e può quindi beneficiare dall'essere vaccinato.

Una politica attuabile dai *decision maker* è composta dalla distribuzione prioritaria dei vaccini e dalla sospensione di determinate attività lavorative. Una distribuzione vaccinale V , appartenente a $R_+^{I \times J}$, specifica così il numero di persone v_{ij} che sarà vaccinato per segmento. Entra adesso in gioco concretamente l'ipotesi sulla scarsità dei vaccini inizialmente disponibili: viene imposto sulle scorte il vincolo $\sum_{ij} v_{ij} \leq b$, dove b rappresenta la quantità di vaccini inizialmente disponibile che per ipotesi risulta inferiore alla popolazione $\sum_{ij} p_{ij}$. La sospensione di attività lavorative è rappresentata da h_{ij} , con $H \in R_+^{I \times J}$, ed indica il numero di persone contenute in i e j che non possono svolgere, almeno in presenza, il proprio lavoro. Nel complesso deve risultare che $V + H \leq P$: questo significa che nei primi due mesi i lavoratori o vengono vaccinati oppure sono costretti a lavorare da remoto.

L'efficacia di un vaccino è rappresentata da γ , cioè la probabilità con cui un individuo vaccinato diventa immune al virus. La grandezza di gamma può essere alternativamente interpretata come la riduzione della gravità della malattia per l'individuo vaccinato: questo effetto si traduce nella riduzione di γ volte del costo derivante dall'infezione, ponderato per il rischio di contrarla, $r_{ij} c_{ij}$.

Riassumendo, una politica costituita da una campagna vaccinale V e restrizioni H riduce la popolazione affetta dal virus di $\gamma V + H$. In particolare per ogni gruppo i, j la politica scelta riduce i costi di $(\gamma v_{ij} + h_{ij}) r_{ij} c_{ij}$.

Il modello non include la possibilità che un lavoratore a distanza possa infettarsi, purtroppo questa considerazione risulta essere un punto debole non trascurabile. In molti casi infatti i contagi non avvengono sul luogo di lavoro, ma in occasioni familiari (Li et al., 2020) e sociali. L'ipotesi diviene molto più realistica in una situazione di lockdown generale in cui le attività sociali sono ridotte quasi a zero per tutta la popolazione. In base a questa considerazione i risultati sono applicabili più agevolmente a situazioni di diffusione incontrollata del virus, in cui è necessaria una quarantena generale oltre all'interruzione del lavoro in presenza per alcune categorie. Questo è proprio il caso di paesi non ricchi che solo ora possono accedere a limitate quantità di dosi. Situazione non troppo differente da quella affrontata dall'Italia nel Dicembre 2020.

Un'altra criticità riguarda l'ammontare degli individui già immunizzati a causa del contagio. Nel modello questa variabile non viene considerata in quanto gli autori giudicano il numero di guariti così piccolo da poter essere trascurato. Nel 2021 il numero di guariti è diventato tuttavia una variabile significativa in molte realtà: ad inizio Maggio in Italia vi erano 3 milioni e mezzo di guariti, negli Stati Uniti il numero arrivava addirittura a 90 milioni. È probabile che l'entità sia considerevole anche nei paesi poco sviluppati. Vi è comunque un elevato grado di incertezza riguardo la variabile guariti che potrebbe rendere la sua eliminazione dal modello giustificata oltre che semplificatoria. Secondo

i dati Gavi l'immunità "naturale" al Covid-19 dura in media soli 8 mesi e non è totale vista la possibilità, verificatasi in alcuni casi, di contrarre nuovamente il virus soprattutto in presenza di varianti.

Oltre al costo sanitario dell'infezione gli autori considerano il costo economico dell'interruzione delle attività lavorative. Si denotano con $F \in R_+^{I \times J}$ i valori economici, in particolare f_{ij} indica il valore economico prodotto dagli individui di un certo gruppo i, j . La perdita economica legata all'interruzione dell'attività di questo gruppo corrisponde quindi a $f_{ij}h_{ij}$, se si considera l'impossibilità di lavorare a distanza.

Si ottiene così un problema di ottimizzazione vincolato: l'obiettivo dei *planner* è di massimizzare i benefici sanitari al netto dei costi economici per mezzo di vaccinazioni e lockdown targetizzati. Questo problema di programmazione lineare ha due variabili (V, H) e tre vincoli:

$$\max_{(V,H)} \sum_{ij} (\gamma v_{ij} + h_{ij}) r_i c_j - f_{ij} h_{ij}$$

Soggetto a:

$$\text{Vincolo sulla disponibilità } \sum_{ij} v_{ij} \leq b$$

$$\text{Vincolo sulla realizzabilità } v_{ij} + h_{ij} \leq p_{ij}$$

$$\text{Vincolo sulla mortalità } \sum_{ij} r_i d_j (p_{ij} - \gamma v_{ij} - h_{ij}) \leq \theta \sum_{ij} p_{ij}$$

Il significato del primo vincolo è già stato analizzato. Questo vale anche per il secondo vincolo che chiarisce la non sovrapponibilità di vaccinazione ed interruzione delle attività per lo stesso segmento di popolazione. Chiaramente questa condizione è realistica per i primi due mesi di distribuzione, quando sono vaccinati principalmente lavoratori essenziali in modo tale che riprendano le loro mansioni il prima possibile. Il termine d_j nel terzo vincolo indica la mortalità tra chi è stato infettato per il gruppo d'età j . Questo ultimo vincolo è interpretabile come l'indicazione di un tetto massimo della mortalità, corrispondente a θ , data un'efficacia vaccinale γ . Inoltre il vincolo sulla mortalità è l'unico non *binding*: la disequazione non deve necessariamente tradursi in un'equazione dal momento che θ può essere fissato liberamente.

2.3 Dati

Viene presa come popolazione di riferimento la forza lavoro statunitense del 2017. Si creano 8 fasce d'età e 454 professioni: per determinare quanti individui in una fascia d'età svolgono la stessa professione viene utilizzato l'American Community Survey (ACS)⁸.

Tabella 3: riassunto dati⁹

Fascia d'età	Sulla popolazione	Tasso di mortalità infetti (%)	VSV in dollari (mln)	Costo dell'infezione in dollari
< 19	0.215	0.001	15.3	153
20-29	0.12	0.005	16.1	805
30-39	0.135	0.02	15.8	3,160
40-49	0.14	0.05	13.8	6,900
50-59	0.135	0.2	10.3	20,600
60-69	0.115	0.7	6.7	46,900
70-79	0.09	1.9	3.7	70,300
80+	0.05	8.3	1.5	124,500

Come approssimazione del valore economico f_{ij} prodotto da un individuo di professione j e d'età i , si utilizzano i salari medi annuali, anch'essi forniti dall'ACS. Questa approssimazione è economicamente giustificata, infatti corrisponde al PIL associato a quel determinato gruppo ed all'eventuale perdita dello stesso in caso di restrizioni lavorative senza possibilità di lavoro da remoto. Rimangono comunque degli aspetti legati al valore delle professioni che non sono rappresentabili attraverso il solo output economico, come per esempio il valore prodotto da medici ed infermieri in tempo di pandemia. Per catturare questi valori non numerici gli autori designano come essenziali 121 occupazioni, che per via della loro importanza non possono essere soggette a restrizioni.

Per trovare il costo medio di infezione c_j , legato ad un individuo appartenente alla fascia d'età j , bisogna moltiplicare il tasso di mortalità degli infetti di quell'età con il corrispondente "valore statistico di una vita" (VSV), "value of statistical life" (VSL) in inglese. Il processo è così riassumibile:

$$c_j = d_j \times VSV_j$$

I tassi di mortalità sono basati sulle stime di Salje et al. (2020), prodotte grazie al confronto tra i dati forniti dal sistema ospedaliero francese e quelli raccolti sulla nave da crociera "Diamond Princess". Le stime sul VSV sono, al contrario di quelle legate al primo fattore, molto più complesse da giustificare. Per questo motivo la derivazione dei valori legati al VSV, così come quella dei tassi di infezione per occupazione r_i , richiede un paragrafo apposito.

⁸ Sondaggio per l'analisi demografica condotto regolarmente dalla U.S Census Bureau.

⁹ Fonte: Babus, Das e Lee (2020), tradotto.

2.3.1 Valore statistico di una vita

Nell'ambito del Covid-19 vengono usati solitamente due metodi per la stima del valore economico delle vite in gioco: il primo è quello VSV, il secondo è invece quello Standard Expected Years of Life Lost (SEYLL). Oltre a produrre valori così simili da poter essere intercambiabili questi due metodi hanno in comune il fatto di essere legati alla mortalità legata all'infezione e non alla qualità di vita successiva alla stessa (Emanuel et al., 2020). Al contrario altri metodi, come lo Years Lived with Disability (YLD) ed il Disability Adjusted Life Years (DALY), non richiedono per la stima la conoscenza degli effetti a lungo termine dell'infezione. Comprensibilmente tali informazioni non sono ancora disponibili nel caso del Covid-19, dato che il virus esiste da circa un anno e mezzo. Le stime del valore statistico di una vita utilizzate nel modello sono fornite da Greenstone e Nigam (2020), a loro volta queste stime non sono altro che aggiornamenti di quelle inizialmente individuate da Thaler e Rosen (1976).

L'identificazione del valore di una vita umana con un numero potrebbe sembrare indecorosa, ma è in realtà giustificata da diffusi comportamenti individuali e di gruppo. Un esempio pratico si manifesta nel caso di un individuo alla ricerca di una nuova automobile: gli si pone di fronte un *trade-off* tra benefici degli accessori di sicurezza ed il loro costo. Nel caso degli studi condotti nel 1976 l'accessorio a cui molti automobilisti rinunciavano a causa del costo era costituito dalle recentemente introdotte cinture di sicurezza. Oltre che empiricamente stimabile, il VSV degli cittadini è di fondamentale importanza per dare un valore matematico alle scelte dei decisori pubblici, che altrimenti in molte occasioni rischierebbero di essere giustificate da mere considerazioni soggettive. Il valore statistico di una vita di norma agglomera stime prodotte attraverso tre processi differenti (Biausque, 2012). Il primo metodo consiste nella riproduzione delle compensazioni offerte dalle compagnie assicurative a vittime di diversi incidenti. La forza di queste compensazioni sta nel fatto che coprono perdite rilevanti per l'individuo, in quanto ha scelto volontariamente di assicurarsi contro di esse. La seconda fonte di valori è costituita dalle stime sul capitale umano di ciascuna persona: in queste valutazioni si cerca di stimare oggettivamente, per quanto possibile, la perdita di utilità che sarebbe causata alla comunità dall'infortunio o scomparsa di un determinato individuo. L'ultimo metodo si basa sulla disponibilità a pagare di una persona per ridurre il proprio rischio di mortalità. Le stime vengono prodotte attraverso sondaggi in cui vengono poste ai partecipanti domande con la seguente struttura: per prima cosa viene spiegato lo scenario in termini di natura del rischio corso e le sue conseguenze, è poi chiesto quanto l'individuo sia disponibile a pagare per evitare il rischio presentato. Anche in questo caso i risultati prodotti non sono del tutto oggettivi, è stato infatti osservato che le risposte dei partecipanti variano significativamente in base al modo in cui è richiesta la risposta: tramite domande aperte i valori ottenuti sono mediamente più bassi di quelli ottenuti con domande chiuse in serie.

2.3.2 Tasso di infezione

Non esistono tutt'oggi dati certi sui tassi di infezione su base occupazionale r_i . Per questo Babus, Das e Lee hanno optato per una derivazione indiretta, che sarà ora analizzata. La derivazione in questione si articola in due passi.

Il primo passo ha inizio dai dati sulle morti per occupazione: a questo scopo vengono utilizzati i numeri messi a disposizione dall'Office for National Statistics (ONS) che coprono i decessi per occupazione in Gran Bretagna dal 9 Marzo al 25 Maggio 2020 di individui dai 20 ai 64 anni. L'ONS mette a disposizione, per ogni categoria lavorativa i , i tassi di mortalità da Covid-19 per 100.000 persone. Questi tassi sono comunicati senza riferimento al numero degli infetti e sono suddivisi per genere. Gli autori derivano il tasso di mortalità per occupazione D_i indipendente dal genere attraverso una media ponderata dei dati forniti. Visto che esistono già stime sul tasso di mortalità degli infetti per età d_j , si possono derivare i diversi r_i per 100.000 individui attraverso la seguente formula:

$$r_i = \frac{D_i}{\sum_j q_j d_j}$$

La variabile q_j non è altro che la frazione di persone nella fascia d'età j sul totale della popolazione in base ai dati dell'UE. Ovviamente $q_j \in [0; 1]$. In questo modo al denominatore si ottiene una media ponderata della mortalità degli infetti. La formula è più intuitiva se si sposta il denominatore a sinistra: il tasso di infettività per il mestiere i , moltiplicato il tasso di mortalità degli infetti medio, corrisponde al tasso di mortalità Covid-19 per l'occupazione i . L'utilizzo di questa formula è giustificato dalla considerazione realistica secondo cui il rischio di infezione si basa sull'occupazione, mentre la mortalità legata all'infezione si basa sull'età.

Il secondo passo consiste nel trovare gli r_i per le occupazioni statunitensi su cui il modello si basa. La principale causa delle differenze tra occupazioni è attribuita ai diversi gradi di vicinanza fisica tra i lavoratori. È tramite la prossimità tra persone che il virus si diffonde più facilmente, anche in presenza di misure di prevenzione che non possono mai essere totalmente efficaci.

A partire dai dati sugli r_i della GB, sopra derivati, e dalle misure sulla vicinanza occupazionale fornite sempre dall'ONS, gli autori stimano una regressione. Ne risulta che un lavoratore del campo i , con una misura di vicinanza $x_i \in [0; 100]$, ha una probabilità su due mesi di essere infettato di

$$P[\text{Infezione}|x_i] = \frac{r_i}{100.000} = \Phi(\alpha + \beta x_i)$$

Dove Φ rappresenta la funzione cumulativa della distribuzione normale standardizzata. Le stime ottenute aumentano comprensibilmente all'aumentare della prossimità: dai 2.638 infetti attesi tra i taglialegna ai 20.160 tra i fisioterapisti, sempre su 100.000.

Grazie a queste stime si può creare una regressione per gli Stati Uniti: come misura di prossimità fisica sono usati questa volta i dati di Mongey et al. (2020), sviluppati a partire dal database O*NET¹⁰. Il $\hat{\beta}$ stimato per gli Stati Uniti risulta pari a 0,0037667 al contrario dello 0,0128009 risultante per la GB. Entrambe le stime hanno un livello di confidenza del 5%. La differenza tra le due stime sottolinea come negli USA l'occupazione sembri essere poco influente sulla probabilità di essere infettato di un individuo. A sua volta questa considerazione indica l'utilità, almeno negli Stati Uniti, di un programma di vaccinazione basato sull'età più che sul lavoro delle persone. Tendenzialmente la priorità degli anziani dovrebbe essere ancora più importante nei paesi dell'UE, dove l'età media è complessivamente superiore di 6 anni a quella statunitense pari a 38.

2.4 Risultati

Gli autori considerano implicitamente che ogni individuo riceve al massimo una dose, probabilmente per massimizzare la copertura della popolazione a discapito della copertura del singolo. Secondo Matrajt et al. (2021), una strategia simile è consigliabile in caso di efficacia elevata della prima dose ($\text{Eff.} \geq 72\%$), mentre in caso di efficacia moderata e bassa ($18\% \leq \text{Eff.} \leq 72\%$) sono più indicate strategie di vaccinazione mista: gli individui, tra quelli prioritari, a rischio e trasmissività elevati ricevono due dosi, mentre i rimanenti ricevono solo la prima. Nel modello analizzato viene ipotizzata un'efficacia media delle prime dosi pari al 50%, sarebbe forse stato più appropriato considerare una strategia di vaccinazione mista. La distribuzione di sole prime dosi è in ogni caso utilmente semplificatoria e può inoltre, in situazioni reali, essere preferita a strategie miste per via degli indubbi vantaggi logistici. È stato poi dimostrato come, per massimizzare l'efficacia di una vaccinazione a due dosi, è necessario far trascorrere tra la prima e la seconda iniezione un minimo di tre settimane¹¹, il che sottolinea le difficoltà organizzative collegate ad una strategia di vaccinazione completa nei primi mesi di emergenza.

Grazie a dati più recenti sappiamo che in realtà l'efficacia media delle prime dosi è leggermente superiore all'ipotizzato 50%. Un rapporto del governo inglese (Public Health England, 2021) su individui sopra i 70 anni ha rivelato che, dopo 28 giorni, l'efficacia del vaccino Pfizer, il più utilizzato, è in media del 58%, quasi alla pari con quello AstraZeneca. Absalon et al. (2021) evidenziano come, per gli individui di tutte le età, l'efficacia della prima dose diventa estremamente alta col passare del tempo: nella prima settimana dopo la somministrazione si stima un'efficacia del 50%, per arrivare sino all'85% della terza settimana. Per quasi tutti i vaccini grazie alla seconda dose si raggiungono livelli di efficacia attorno al 95%. Il contributo marginale della prima somministrazione al fine

¹⁰ Sito dello US Department for Labor contenente dati sulle caratteristiche dei lavoratori statunitensi.

¹¹ L'OMS raccomanda un intervallo di 6 settimane, la GB ha adoperato nel corso del 2020 un intervallo di 12 settimane.

dell'immunizzazione è perciò più importante rispetto a quello della seconda: è critico che soprattutto le prime dosi siano distribuite in maniera ottima.

La risoluzione del modello, con presenza di 121 occupazioni essenziali e possibilità di lavoro a distanza, indica che il maggior numero di dosi è destinato alla fascia d'età 50-59 anni, seguita da quella 40-49 e poi quella 60-69. La lezione principale è che l'età gioca un ruolo molto più importante del rischio di infezione legato alle diverse professioni nella scelta dei gruppi prioritari. Questo è dovuto all'aumento esponenziale della mortalità rispetto all'incremento dell'età dell'individuo infetto.

Tabella 4: rappresentazione delle priorità per alcune occupazioni selezionate.¹²

	70+	60-69	50-59	40-49	30-39	20-29			
Occupazione	Personale medico d'emergenza e paramedici	Infermieri	Conducenti di autobus	Macellai e lavoratori di pollame, pesce ed altre carni	Insegnanti di scuole elementari e medie	Addetti vendita al dettaglio	Segretari d'ufficio ed assistenti amministrativi	Consulenti finanziari	
Infetti stimati su 100k	18,789	15,568	13,590	12,460	11,652	9,432	4,933	3,556	

La tabella 4 riassume le priorità attraverso le diverse sfumature di blu: la sfumatura più scura è assegnata ai gruppi ad alta priorità che riceverebbero il vaccino con sole 30 milioni di dosi disponibili; la sfumatura intermedia contrassegna i gruppi a priorità intermedia che lo ricevono con una disponibilità di 60 milioni di dosi; il blu più chiaro indica i segmenti di popolazione bassa priorità che lo riceverebbero con una scorta di 100 milioni. Il *trade-off* tra età e rischio occupazionale fa sì che i consulenti finanziari, nello scenario delle 60 milioni di dosi, ricevono il vaccino solo se sopra i 60 anni. Più le dosi iniziali sono limitate più risulta importante il rischio specifico occupazionale. Questo rischio è invece reso meno importante dalla possibilità di contrarre il virus in altre occasioni sociali, purtroppo non inclusa. I risultati suggeriscono che un vaccino efficace al 50% non è adeguato per vaccinare lavoratori ultraottantenni così da permettere loro di tornare in presenza alle proprie attività: il rischio di decesso è troppo elevato da giustificarlo. A causa della mancanza di contatti sociali nel modello, questi lavoratori non vengono vaccinati e sono oggetto di restrizioni, in modo tale che non possano contrarre il virus. Anche se il caso di lavoratori così anziani è comprensibilmente raro, mette in luce come in un contesto reale gli individui più anziani, che non abbiano ancora ricevuto la seconda dose, dovrebbero fortemente limitare i propri contatti sociali per salvaguardare la propria salute. I gruppi lavorativi che ricevono il vaccino in età meno avanzata sono ovviamente quelli

¹² Fonte: Babus, Das e Lee (2020), tradotto.

essenziali ed a più alto grado di prossimità fisica: gli infermieri infatti ricevono per primi il vaccino a partire dai 40 anni.

Le stime degli autori specificano infine che, con l'efficacia e la disponibilità ipotizzate, anche tramite vaccinazioni e lockdown ottimali, il 2,69% della forza lavoro contrae il virus nei primi due mesi, ovvero circa 4.840.000 persone. Si stima infine come ridurre la mortalità assoluta da Covid-19 a quella di una normale influenza, cioè 0.012%. Sono necessarie come minimo 60 milioni di dosi con il 65% di efficacia, accompagnate dall'interruzione del lavoro in presenza per tutte le professioni, salvo quelle essenziali, per l'interezza dei due mesi.

3. DISTRIBUZIONE INTERNA EQUA

3.1 Equità per i gruppi svantaggiati

Nell'allocazione di una risorsa scarsa come i vaccini Covid-19 potrebbe risultare intuitivo l'utilizzo di un criterio distributivo utilitarista, volto cioè alla riduzione del totale dei danni causabili dal virus. L'obiettivo è quello di ridurre gli anni di vita persi complessivamente dalla popolazione e salvare più vite possibile. Secondo Schmidt et al. (2020) un criterio simile non è, se utilizzato da solo, adeguato ad una distribuzione anche equa dei vaccini. Gli anni di vita salvati vanno contestualizzati e legati alle comunità reali che ne traggono beneficio: è fondamentale fare in modo che ogni gruppo di persone riceva vaccini e cure proporzionalmente ai danni sofferti a causa del Covid. In un certo senso l'approccio da adottare secondo gli autori dovrebbe essere più Rawlsiano: oltre che massimizzare l'utilità in termini assoluti, è necessario prestare attenzione a come questa utilità generata viene distribuita tra gli individui e concentrarsi sul redistribuirla equamente verso i meno fortunati (Rawls, 1971).

I segmenti di popolazione svantaggiati nel contesto del Covid-19 corrispondono a quelle persone con un rischio per la propria salute legato all'infezione più grave di quello di altri gruppi. I rischi derivanti dall'infezione non sono infatti distribuiti allo stesso modo nella popolazione. Più in generale esempi di categorie svantaggiate sono i gruppi di persone: meno abbienti, con disabilità, con malattie pregresse gravi, in occupazioni ad alta trasmissività e residenti in zone poco coperte da servizi ed infrastrutture pubbliche. Nel contesto statunitense, a cui gli autori fanno riferimento, il Covid ha messo in luce le gravi iniquità economiche sofferte dalle minoranze etniche, in particolare latino ed afroamericane. Queste differenze, già dimostrate dalle diverse aspettative di vita (Olshansky et al., 2012), sono state evidenziate dalle diverse mortalità da virus: il tasso di mortalità per la popolazione

bianca statunitense è di 38/100.000, quella dei gruppi latino ed afroamericani è rispettivamente di 125/100.000 e 131/100.000.

Queste indicazioni sono in parte presenti nelle linee guida NASEM¹³, incaricata dalla CDC della stesura di un *framework* per l'allocazione equa dei vaccini negli Stati Uniti. In particolare vengono indicati tre principi etici (NASEM, 2020). Il primo principio è il “beneficio massimo”, che si traduce nella massimizzazione dei benefici sociali attraverso la riduzione della mortalità e trasmissività del virus. Le due prescrizioni seguenti completano la prima sotto il punto di vista dell'eticità: “Egual preoccupazione” è infatti il secondo principio. Esplicitamente questo richiede da parte del governo eguale interesse ed attenzione verso ognuno dei suoi cittadini, col riconoscimento dell'eguale importanza di ognuno di essi. La terza ed ultima indicazione è la “mitigazione delle iniquità sanitarie”: l'obiettivo è la considerazione, nel processo distributivo, dei rischi più elevati di infezione, e conseguenze gravi della stessa, affrontati da persone con certe caratteristiche personali, salutari, lavorative ed abitative.

Concretamente, per l'identificazione delle aree e popolazioni più a rischio, le linee guida consigliano l'utilizzo del Social Vulnerability Index (SVI). Lo SVI era stato inizialmente creato dalla CDC per stabilire le priorità di aiuti e soccorsi in caso di disastri naturali come uragani e terremoti. Per determinare le priorità, a livello di contea, vengono utilizzate 15 variabili riassuntive di: status socioeconomico, etnia, lingua, famiglia, abitazione e servizi pubblici accessibili.

Il 10% delle scorte disponibili dovrebbero essere, secondo le indicazioni, riservate per gli stati appartenenti al 25% dei peggiori sulla scala delle misure SVI. Stando alle conclusioni di Schmidt sarebbe preferibile che tutte le dosi a disposizione del governo federale fossero distribuite sulla base dello SVI. Il restante 90% è infatti distribuito proporzionalmente alle popolazioni degli stati, col rischio concreto che quelli con popolazioni svantaggiate più numerose si ritrovino in situazioni di gravi carenze.

Per quanto riguarda l'allocazione interna nei singoli stati, le indicazioni NASEM richiedono alle amministrazioni di far sì che le zone più a rischio, sempre identificate dal peggior 25%, ricevano i vaccini ad esse assegnati in tempi brevi e certi. Ancora una volta queste misure non sono sufficienti secondo Schmidt: sarebbe adeguato che ogni area ricevesse una quantità di vaccini inversamente proporzionale all'aspettativa di vita rilevata nella stessa. La quantità ricevuta potrebbe in alternativa essere proporzionale alla mortalità da Coronavirus.

¹³ US National Academies of Science, Engineering, and Medicine

3.2 Sistemi di priorità

Una volta delineati i principi della distribuzione ed accertato il numero di vaccini a disposizione è necessario passare alla vera e propria allocazione operativa.

In caso di risorse mediche scarse il meccanismo allocativo più utilizzato è il sistema di priorità, solitamente a punteggio. La classifica dei soggetti interessati è determinata sulla base di una funzione di punteggio monotona: le variabili considerate permettono di assegnare un punteggio ad ogni individuo. Sulla base di questi punteggi i soggetti vengono comunemente divisi in fasce i cui membri hanno lo stesso livello di priorità sull'assegnazione della risorsa scarsa. Un esempio di sistema a punteggio è costituito dalla scala SOFA¹⁴ che misura il rischio di mortalità dei pazienti in terapia intensiva: lo stato di New York lo ha utilizzato per la distribuzione dei ventilatori nei propri ospedali prima della pandemia (New York State Department of Health, 2015).

Una criticità importante di simili scale è l'assenza di considerazione di una moltitudine di variabili etiche interessate, come ad esempio lo stato del ciclo di vita del paziente. Per questo sono state proposte misure di priorità *multi-principle* che aggregano, a punteggi come quello SOFA, considerazioni di natura etica. In particolare Katz et al. (2009) hanno proposto un sistema di questo tipo che aggrega al punteggio SOFA valori matematicamente assegnati ai principi di: salvataggio del maggior numero di vite, salvataggio del maggior numero di anni di vita e priorità degli individui in fasi precoci del ciclo di vita. Anche questo sistema di priorità ha però gravi difetti. In prima istanza l'assegnazione di valori matematici ai vari principi etici considerati risulta in parte arbitraria, data la difficoltà nella misurazione e l'incommensurabilità delle variabili stesse. È poi chiaro come molti valori etici vengano inevitabilmente esclusi dal calcolo. Non è per esempio considerata la priorità che hanno alcuni individui essenziali per la comunità, siano essi medici, infermieri o agricoltori. Inoltre non è presa in considerazione l'allocazione delle risorse a gruppi di individui in modo proporzionale alla loro grandezza sul totale della popolazione: anziani e disabili rischierebbero di ricevere relativamente meno cure dal momento che gli anni di vita salvabili risultano essere pochi rispetto al resto degli individui.

3.3 Reserve System

Per situazioni di complessità allocativa come quella di vaccini, ma anche ventilatori ed altre risorse mediche per la lotta al Coronavirus, Pathak et al. (2021) propongono un *reserve system*, o sistema di riserve, in contrasto ai tradizionali sistemi di priorità. Questo tipo di sistema era già noto ma sono Pathak e collaboratori ad enunciarne per la prima volta una teoria generale completa.

¹⁴ Sequential Organ Failure Assessment score.

Si considerano un insieme di pazienti I e q unità mediche identiche da allocare tra di essi. Vi è poi un insieme di categorie di pazienti C : ogni categoria $c \in C$ è associata ad una sua riserva di risorse mediche r_c , in modo tale che $\sum_c r_c = q$. Ogni categoria ha uno specifico sistema di priorità per i propri membri, è questa flessibilità che permette ad un sistema di riserve di adattarsi a situazioni in cui molti interessi vengono a sovrapporsi tra loro. Si dice che individuo è idoneo per la categoria c se $i \pi_c \emptyset$: il simbolo π_c indica la priorità del primo elemento sul secondo sulla base delle priorità della categoria c ; ovvero un individuo è idoneo per la categoria c se ha priorità rispetto all'insieme vuoto, \emptyset .

Per indicare quali e quanti individui ottengono un'unità medica attraverso quale categoria viene utilizzata una funzione detta di *matching*, $\mu : I \rightarrow C \cup (\emptyset)$. Per un paziente i , se $\mu(i) = \emptyset$ allora non riceve alcuna unità, se invece $\mu(i) = c$ allora riceve una unità medica grazie al suo posizionamento nella categoria specificata. È importante esplicitare la categoria perché ogni individuo può essere idoneo a più di una.

M denota il set dei possibili *matching* μ tra individui ed unità. Inoltre deve valere:

$$|\mu^{-1}(c)| \leq r_c$$

Considerare la funzione inversa significa semplicemente prendere una categoria ed ottenere il numero di pazienti che ricevono il bene attraverso essa, ovviamente il numero di unità ricevute non può essere superiore al numero di unità riservate r_c .

Per assicurare una distribuzione giusta e senza sprechi gli autori fissano tre criteri

1. Un *matching* μ rispetta il criterio di idoneità se:

$$\mu(i) = c \rightarrow i \pi_c \emptyset$$

Se un individuo riceve cure attraverso c , significa che è idoneo a quella categoria.

2. Un *matching* μ rispetta il criterio di assenza di sprechi se:

$$i \pi_c \emptyset \wedge \mu(i) = \emptyset \rightarrow |\mu^{-1}(c)| = r_c$$

Se un paziente ha diritto a ricevere un'unità attraverso la categoria c , ma non ne riceve alcuna, significa che la scorta di unità per quella categoria è già stata esaurita. L'assioma può essere anche interpretato come: se vi sono unità della categoria c non assegnate, significa che tutti gli aventi diritto di quella categoria sono già stati soddisfatti.

3. Un *matching* μ rispetta il criterio di ordine delle priorità se:

$$\mu(i) = c \wedge \mu(i') = \emptyset \rightarrow i \pi_c i'$$

Se nella stessa categoria la persona i riceve cure, mentre quella i' no, allora i deve avere una priorità più alta di i' .

Per spiegare il risultato dell'allocazione è utile servirsi di *cutoff*, cioè valori di soglia o valori marginali: viene esplicitata cardinalmente la priorità dell'ultimo individuo che riesce a ricevere un'unità medica per ogni categoria. Concretamente per ogni categoria $c \in C$, un *cutoff* f_c è un elemento appartenente ad $I \cup \emptyset$ tale che $f_c \underline{\pi}_c \emptyset$. $\underline{\pi}_c$ indica che il primo elemento è debolmente preferito al secondo: il valore della priorità dell'individuo marginale deve essere quindi non negativo. Si indica con f un vettore di *cutoff*, cioè l'insieme dei valori di soglia di tutte le categorie, e si indica con F il set dei vettori di *cutoff* possibili.

Un equilibrio di *cutoff* è una coppia costituita da un vettore di *cutoff* ed un *matching* $(f, \mu) \in F \times M$, tale che per ogni categoria:

$$|\mu^{-1}(c)| < r_c \rightarrow f_c = \emptyset$$

Se in una categoria avanzano unità mediche da distribuire significa che il valore di soglia per la soddisfazione attraverso quella categoria è nullo. Questa condizione è interpretabile come una *market clearing condition*.

Gli autori riassumono le condizioni finora esposte attraverso il seguente teorema:

Teorema 1. *Per ogni matching $\mu \in M$ che rispetti i criteri di idoneità, assenza di sprechi e ordine delle priorità, esiste un vettore di cutoff $f \in F$ che supporta la coppia (f, μ) in qualità di equilibrio di cutoff. Viceversa per ogni equilibrio di cutoff $(f, \mu) \in F \times M$, il matching μ rispetta i criteri di idoneità, assenza di sprechi e ordine delle priorità.*

È importante notare che uno stesso *matching* è supportabile da diversi vettori di *cutoff* in equilibrio.

3.4 Deferred acceptance algorithm

Una volta esaurita la descrizione delle caratteristiche del modello è il momento di analizzare in che modo questo viene risolto, vale a dire come viene realmente elaborato il *matching*. Come base per la risoluzione gli autori si servono del *deferred acceptance algorithm*, sviluppato dagli economisti e matematici Gale e Shapley nel 1962.

Nello studio originale questa procedura viene utilizzata per la risoluzione del “problema del matrimonio stabile”. Si considerano due gruppi di grandezza identica, uno di uomini e l'altro di donne, tutti in cerca di un futuro coniuge. Ogni partecipante esprime una classifica delle proprie preferenze sui membri dell'altro gruppo. Per la risoluzione bisogna trovare le corrispondenze in modo tale che ogni coppia sia stabile. Un *matching*, cioè insieme di coppie, non è stabile se:

1. Un individuo A , del primo gruppo processato, preferisce un individuo B dell'altro gruppo a quello con cui è già stato appaiato.

2. L'individuo B preferisce a sua volta A rispetto all'individuo con cui è stato appaiato.

L'algoritmo di Gale-Shapley riesce a trovare sempre un *matching* stabile. Ne si analizza ora la struttura con riferimento ai dati del *reserve system*. Si ricorda a proposito che un paziente i può essere appaiato tramite una sola categoria c , mentre la categoria c può avere tante connessioni quante ne permette la sua riserva r_c . Dato che l'algoritmo necessita l'esplicitazione delle preferenze, si ipotizza che ogni paziente abbia un ordine di preferenze strette \succ_i su $C \cup \{\emptyset\}$ in modo tale che:

$$c \succ_i \emptyset \leftrightarrow \text{il paziente } i \text{ è idoneo alla categoria } c$$

La struttura dell'algoritmo è la seguente:

- Step 1: ogni paziente si candida alla sua categoria preferita tra quelle per cui è idoneo. La categoria accetta i candidati in base all'ordine π_c sino a quando alternativamente: tutte le unità r_c sono allocate o tutti i candidati sono accettati. Tutti gli eventuali pazienti rimasti sono rifiutati irreversibilmente.
- Step k : ogni paziente, rifiutato nello step $k - 1$, si candida alla sua categoria preferita tra quelle rimanenti, se esiste. Un'altra volta la categoria accetta i candidati ordinatamente sino a quando tutte le unità sono esaurite o tutti i candidati sono accettati.

L'algoritmo si conclude quando non ci sono più rifiuti di candidati.

Così come l'algoritmo creava *matching* stabili nel contesto dei matrimoni, ora crea *matching* accettabili nel contesto del sistema di riserve:

Teorema 2. Un matching rispetta i criteri di idoneità, assenza di sprechi e ordine delle priorità, se e solo se è ottenuto attraverso il deferred acceptance algorithm.

Per quanto concerne l'implementazione delle categorie in un contesto reale vi sono due metodi, quello che prevede *soft reserves* e quello che prevede *hard reserves*. Nel primo caso per ogni paziente ed ogni categoria considerati vale sempre $i \pi_c \emptyset$. Questo equivale a dire che ogni paziente è idoneo ad ogni categoria: quella attraverso cui otterrà le cure sarà determinata esclusivamente dall'algoritmo. Nel caso delle riserve *hard* invece i pazienti sono idonei solo alla categoria di cui sono beneficiari, come per esempio lo sarebbe un medico nel caso della categoria dei lavoratori essenziali. Per un paziente non beneficiario risulta perciò che $\emptyset \pi_c i$. La maggioranza degli individui è beneficiaria della categoria generale, mentre alcuni gruppi sono beneficiari di categorie preferenziali. Comprensibilmente più una categoria è grande più sarà competitivo l'accesso alle cure. Il metodo delle *hard reserves* è probabilmente il più adeguato per il contesto dei vaccini Covid-19. La creazione

di categorie a trattamento preferenziale consente di adeguare la distribuzione a considerazioni di eticità ed anche efficacia. Un esempio di categoria giustificata da motivi etici è quella delle persone con disabilità, che otterrebbero così una quantità di vaccini proporzionale alla loro grandezza sulla popolazione. Se fossero inseriti in una categoria comune la quantità di vaccini sarebbe insufficiente a causa dei motivi già visti sulla costruzione degli ordini di priorità interni. Quella dei fisioterapisti rappresenterebbe invece una categoria necessaria dal punto di vista dell'efficacia distributiva, vista l'enorme trasmissività del virus registrata nel loro campo occupazionale.

Casi reali di utilizzo di *reserve system* per l'allocazione di vaccini Covid-19 sono quelli di Massachusetts (Massachusetts Department of Public Health, 2020) e Tennessee (Tennessee Department of Health, 2021). Tra le categorie preferenziali utilizzate figurano una riservata agli abitanti di zone ad alto SVI ed una riservata agli abitanti di aree con mortalità da virus largamente superiori alla media.

3.4.1 Sequential reserve matching

L'unica componente artificiale nella risoluzione del modello è la richiesta agli individui della propria mappa delle preferenze sulle categorie. Una costruzione oggettiva e sistematica di queste preferenze è improbabile e potrebbe creare dubbi sulla correttezza procedurale dell'allocazione. È per questo che nella maggior parte delle applicazioni reali di *reserve system*, è stato utilizzato il *sequential reserve matching*. Per questo metodo procedurale si intende l'elaborazione delle corrispondenze categoria per categoria in modo sequenziale, sulla base di un determinato ordine di precedenza su C del tipo $c_1 \triangleright c_2 \triangleright \dots \triangleright c_c$. L'algoritmo diventa il seguente:

- Step 1: i pazienti in I idonei a c_1 sono accettati sulla base dell'ordine di priorità π_{c_1} finché alternativamente: tutte le unità r_{c_1} sono allocate o tutti i candidati sono accettati. Siano ora I^1 i pazienti accettati nello step 1.
- Step k : i pazienti in $I - \sum_{i=1}^{k-1} I^i$ idonei a c_k sono accettati sulla base dell'ordine di priorità π_{c_k} finché alternativamente: tutte le unità r_{c_k} sono allocate o tutti i candidati sono accettati.

Come prima l'algoritmo termina quando non ci sono più rifiuti.

Esiste un importante problema legato al metodo sequenziale. Come osservato da Pathak e collaboratori, prima una categoria è processata più questa è selettiva: intuitivamente prima una categoria è processata più candidati competono per la riserva di unità mediche. Gli autori dimostrano che una risoluzione sequenziale del modello può, nel caso di *hard reserves*, portare all'assegnazione miopica di risorse, causando un esito inefficiente in senso Paretiano.

Si pensi ad una categoria beneficiaria per il personale sanitario, una per individui svantaggiati, ed una generale g . Vi sono due pazienti prioritari, un medico ed un individuo svantaggiato anch'egli medico. Il resto dei pazienti è idoneo alla sola g . Le due categorie preferenziali hanno ciascuna una riserva di una sola unità. Se venisse elaborata per prima la categoria del personale sanitario, l'unica unità disponibile potrebbe essere assegnata all'individuo svantaggiato oltre che medico: in questo modo l'unità della categoria per individui svantaggiati dovrebbe essere messa a disposizione della categoria generale, visto l'impossibilità di assegnarla nel suo contesto designato. Questo significa che l'allocazione non è ottimale. Viene inoltre meno ai principi di equità ed eticità che la dovrebbero guidare.

3.4.1 Smart reserve matching

È per questi motivi che gli autori propongono come alternativa lo *smart reserve matching*. La particolarità di questo metodo sta nell'aggiunta di un quarto criterio per l'elaborazione del *matching*:

4. Un *matching* μ rispetta il criterio di ottimalità nell'assegnazione beneficiaria se:

$$\mu \in \arg \max_{v \in M} \left| \sum_c (v^{-1}(c) \cap I_c) \right|$$

Per “arg max” si intendono gli “argomenti dei massimi”, cioè l'insieme degli argomenti, o input, per i quali la funzione fornisce output massimi. In questo caso la funzione è la sommatoria degli individui che ricevono cure attraverso le categorie beneficiarie C per cui sono idonei. L'intersezione è infatti tra i pazienti che hanno ottenuto unità mediche attraverso c ed pazienti effettivamente idonei alla stessa. Gli individui rimanenti ricevono invece cure attraverso la categoria generale g . La sommatoria raggiunge i valori massimi di unità affidate tramite categorie beneficiarie nell'insieme di argomenti v , questo significa che diversi *matching* possono dare un risultato ottimale. Un *matching* μ , per rispettare il criterio di ottimalità, deve quindi far parte di questo insieme.

L'algoritmo, in presenza di questo ulteriore criterio, consente di ottenere *matching* sempre Pareto efficienti: l'esito dell'allocazione dipende comunque dall'ordine in cui le categorie sono processate, ma tutti gli esiti prodotti sono egualmente efficienti.

CONCLUSIONE

In questo elaborato si è tentato di individuare le migliori politiche a disposizione dei *decision maker* per assicurare una lotta rapida ed equa al Coronavirus. Nonostante i modelli presentati non siano perfettamente aderenti alla realtà dei fatti, per ovvie necessità semplificatorie, ne sono stati comunque tratti principi verosimili.

Nel contesto internazionale l'intensificazione degli sforzi verso la raccolta fondi per il progetto COVAX dovrebbe essere una priorità fondamentale per ogni nazione sviluppata: nell'attuale situazione di *second best*, adesso che molti di questi paesi hanno assicurato una ripresa quasi totale del tenore di vita precedente per i propri cittadini, l'attenzione deve essere rivolta ad eliminare ogni possibilità di rinascita per il virus. Questo obiettivo è raggiungibile soltanto attraverso l'immunizzazione delle popolazioni più povere di Africa, Asia e Sud America dove l'insorgere di nuove varianti è una possibilità sempre concreta. Per quanto riguarda il fronte interno dei paesi in procinto di iniziare o nel mezzo delle proprie campagne vaccinali, è stata evidenziata l'importanza di un programma basato sull'età più che sull'occupazione degli individui: data l'enorme mortalità da Coronavirus degli anziani è fondamentale ridurre i contatti sociali con ogni mezzo sino al ricevimento di almeno la prima dose. Grazie alla comprovata efficacia medio-elevata della prima dose dei principali produttori è consigliabile privilegiare la copertura rapida dell'intera popolazione attraverso la singola dose, riservando la seconda solo per casi particolari. Tale politica rispetta inoltre le linee guida OMS che prevedono un intervallo minimo di svariate settimane tra le due iniezioni per massimizzarne l'efficacia. Per venire incontro al bisogno di equità e giustizia nel processo allocativo è stato analizzato infine il modello del *reserve system*. Attraverso questo nuovo sistema, almeno nel campo medico, è possibile rispettare una molteplicità di valori etici che andrebbero inevitabilmente ignorati attraverso sistemi di priorità tradizionali. Per un'implementazione equa e sempre efficiente è stato poi individuato lo *smart reserve matching*.

Attraverso l'allocazione giusta ed efficace dell'ingente numero di vaccini che sarà prodotto a partire dalla seconda metà del 2021, è auspicabile una rapida neutralizzazione del Covid-19 e delle sue varianti in modo da consentire la ripresa totale delle normali attività economiche e la definitiva riduzione dei decessi su scala globale.

L'elaborato contiene 9986 parole esclusa la bibliografia.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Bibliografia

Absalon, J., Koury, K. & Gruber, W., 2021. Safety and Efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine. *The New England Journal of Medicine*, 22 Aprile.

Babus, A., Das, S. & Lee, S., 2020. The Optimal Allocation of Covid-19 Vaccines. *Medrxiv*, 3 Dicembre.

Biausque, V., 2012. *The value of statistical life: a meta-analysis*. Parigi: OCSE.

Emanuel, E. et al., 2020. An ethical framework for global vaccine allocation. *Policy Forum*, 11 Settembre.

Fontanet, A. & Cauchemez, S., 2020. COVID-19 herd immunity: where are we?. *Nature reviews immunology*, 09 Settembre.

Gale, D. & Shapley, L., 1962. College admissions and the stability of marriage. *The American Mathematical Monthly*, Gennaio.

Gavi, 2020. *COVAX Facility Explainer*. s.l.:s.n.

Greenstone, M. & Nigam, V., 2020. Does social distancing matter?. *Becker Friedman Institute*, Marzo.

Hardin, G. J., 1968. The Tragedy of the Commons. *Science*, 13 Dicembre.

Katz, M., Luce, J. & Lo, B., 2009. Who should receive life support during a public health emergency? Using ethical principles to Improve allocation decisions. *Annals of Internal Medicine*, 20 Gennaio.

Katz, M., Rosen, H. & Wyn, M., 2015. La teoria dei giochi. In: *Microeconomia*, a cura di C. A. Bollino. Milano: McGraw Hill Education, pp. 383-412.

Li, W. et al., 2020. Characteristics of Household Transmission of COVID-19. *Clinical Infectious Diseases*, 17 Aprile.

Massachusetts Department of Public Health, 2020. *Guidance for allocation of Covid-19 monoclonal antibody therapeutics*. Boston: s.n.

Matrajit, L. et al., 2021. Optimizing vaccine allocation for Covid-19 vaccines: critical role of single-dose vaccination. *Medrxiv*, 16 Gennaio.

McAdams, D. et al., 2020. Incentivising wealthy nations to participate in the Covid-19 Vaccine Global Access Facility: a game theory perspective. *BMJ Global Health*, 30 Novembre.

Mongey, S., Pilosoph, L. & Weinberg, A., 2020. Which workers bear the burden of social distancing?. *NBER*, Maggio.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2020. *Framework for equitable allocation of Covid-19 vaccine*. Washington DC: National Academic Press.

New York State Department of Health, 2015. *Ventilator allocation guidelines*. New York: s.n.

Olshansky, J., Antonucci, T., Cacioppo, J. & Carnes, B., 2012. Differences in life expectancy due to race and educational differences are widening, and many may not catch up. *Health Affairs*, Agosto.

Ostrom, E., 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action (political economy of institutions and decisions)*. I edizione. Cambridge: Cambridge University Press.

Pathak, P., Sönmez, T., Ünver, U. & Yenmez, B., 2021. Fair allocation of vaccines, ventilators and antiviral treatments: leaving no ethical value behind in health care rationing. *Cornell University arXiv*, 19 Gennaio.

Public Health England, 2021. *Vaccine effectiveness report*, Londra: s.n.

Rawls, J., 1971. *A theory of justice*. I edizione. Cambridge: Harvard University Press.

Rouw, A., Kates, J., Michaud, J. & Wexler, A., 2021. COVAX and the United States. *Kaiser Family Foundation*, 18 Febbraio.

Salje, H. et al., 2020. Estimating the burden of SARS-CoV-2 in France. *Science*, 13 Maggio.

Schmidt, H., Pathak, P., Sönmez, T. & Ünver, U., 2020. Covid-19: how to prioritize worse-off populations in allocating safe and effective vaccines. *BMJ Global Health*, 5 Ottobre.

Tennessee Department of Health, 2021. *Covid-19 Vaccination Plan*. Nashville: s.n.

Thaler, R. & Rosen, S., 1976. The value of saving a life: evidence from the labor market. In: Household consumption and production, a cura di N. E. Terleckyj. Rochester: NBER, pp. 265-302.

Sitografia

www.wsj.com/articles/covid-19-vaccine-manufacturing-in-u-s-races-ahead-11616328001

www.prevention.com/health/a35227295/johnson-and-johnson-covid-19-vaccine/

www.who.int/news-room/q-a-detail/herd-immunity-lockdowns-and-covid-19#:~:text=The%20percentage%20of%20people%20who,immunity%20is%20not%20known.

ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/breton/announcements/beating-covid-19-scale-vaccine-production-europe_en

www.aljazeera.com/features/2021/2/7/what-is-vaccine-nationalism-and-why-is-it-so-harmful

www.who.int/initiatives/act-accelerator/covax

www.gavi.org/gavi-covax-amc

www.who.int/news/item/24-08-2020-172-countries-and-multiple-candidate-vaccines-engaged-in-covid-19-vaccine-global-access-facility

eeas.europa.eu/headquarters/headquarters-homepage/95712/team-europe-delivers-first-wave-covax-funded-vaccine-shipments-worldwide-channel-way-out_en

www.who.int/news/item/24-08-2020-172-countries-and-multiple-candidate-vaccines-engaged-in-covid-19-vaccine-global-access-facility

lab24.ilsole24ore.com/coronavirus/en/

www.nytimes.com/interactive/2021/us/covid-cases.html