

Emergenza Coronavirus

La valutazione del rischio di trasmissione aerea del contagio da COVID-19

Andrea Rotella - Ingegnere, RSPP e consulente per la sicurezza

Fin dalle prime fasi della pandemia di COVID-19, la comunità scientifica ha considerato il *droplet* quale principale veicolo di trasmissione del virus SARS-CoV-2 responsabile dell'infezione, pur non escludendo la possibilità che il contagio avvenisse anche mediante altre vie di trasmissione come aerosol, oro-fecale, fomite. In una condizione di rischio sistemico quale quella di una pandemia però sorge il dubbio: è necessario sempre e solo agire sulla base di evidenze o è possibile e indispensabile adottare un approccio non esclusivamente basato sulla "prevenzione" e "protezione" ma anche sulla "precauzione"?

Inquadramento del problema

Fin dalle prime fasi della pandemia di COVID-19, la comunità scientifica e con essa le autorità governative nazionali e internazionali hanno considerato il *droplet* quale principale veicolo di trasmissione del virus SARS-CoV-2 responsabile dell'infezione, pur non escludendo la possibilità che il contagio avvenisse anche mediante altre vie di trasmissione come aerosol, oro-fecale, fomite (superfici o altri elementi contaminati con l'agente patogeno).

Definire il modo in cui il contagio può avvenire e stabilire il contributo che ciascuna via di trasmissione fornisce alla rapida diffusione del virus tra la popolazione è essenziale per definire le misure di prevenzione e protezione e, infatti, basandosi sul presupposto che il contagio sia essenzialmente determinato dal *droplet*, la principale raccomandazione fornita alla popolazione è stata quella di mantenere una corretta distanza interpersonale.

Lo stesso lavaggio delle mani, volto alla prevenzione del contatto per via indiretta mediante fomite, è una precauzione dettata dalle autorità sanitarie, ma non confermata da evidenze scientifiche (1).

Proprio questo è il punto: in quali casi è possibile e lecito limitare le decisioni e le conseguenti azioni alle sole situazioni in cui la scienza fornisce prove e certezze e quando, piuttosto, occorrerebbe agire in modo deciso e, persino, apparentemente "eccessivo"

- dando risposte forti a segnali deboli - pur in assenza di conferme? In altre parole, in una condizione di rischio sistemico quale quella di una pandemia è necessario sempre e solo agire sulla base di evidenze o è possibile e - aggiungerei - indispensabile adottare un approccio non esclusivamente basato sulla "prevenzione" e "protezione" ma anche sulla "precauzione"? La domanda è più che pertinente vista la posta in gioco, perché nei casi in cui si escludessero o non si tenessero in adeguata considerazione alcuni scenari dal ventaglio delle ipotesi, gli esiti possono variare in modo drammatico. Si pensi, ad esempio, alle rilevanti conseguenze che ha avuto nei mesi scorsi la sottovalutazione iniziale del contributo dei soggetti asintomatici e presintomatici nella diffusione del contagio, nonché all'importanza dell'uso di mascherine da parte della popolazione.

Tale sottovalutazione è stata generata dalla confusione tra "assenza di prove" e "prova di assenza" che porta - e lo vediamo tuttora - a non prendere decisioni che possono rivelarsi impopolari a causa del fatto che ciò che di esse si percepisce sono essenzialmente gli impatti negativi e manca il conforto di evidenze scientifiche che aiutino a giustificarne la necessità. Chi scrive ritiene che un simile approccio sia altamente nocivo e che, in condizioni di incertezza ed in presenza di fenomeni con conseguenze di tipo sistemico non lineari (2) sia sempre necessario agire sulle

(1) "Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions", in WHO, 9 luglio 2020.

(2) Per "sistemico" intendo fenomeni le cui conseguenze implicano il rischio di collasso del sistema, come una pandemia.

variabili del tempo e del danno e non su quelle della probabilità. In poche parole, occorre agire tempestivamente senza necessariamente attendere di avere “sufficienti evidenze”. Quando si ha a che fare con fenomeni nuovi e ignoti, come un’epidemia generata da un nuovo virus di cui si sa ancora poco, le prove seguono gli eventi, non li precedono. Attendere le evidenze per prendere le decisioni significa perdere la opportunità di intervenire quando è ancora possibile farlo. E, in assenza o carenza di prove, gli interventi devono necessariamente essere “eccessivi” per limitare i danni. L’aggettivo corretto dovrebbe essere “aggressivi” ma in queste circostanze in molti finirebbero col giudicare “eccessivi” gli interventi risoluti in assenza di evidenze certe che giustificano la presa di posizioni drastiche, senza considerare tuttavia che pochi interventi si rivelano davvero “eccessivi” quando si ha a che fare con minacce sconosciute dal potenziale catastrofico (quanti avrebbero da obiettare in caso di chiusura dello spazio aereo sulla scorta della semplice minaccia di un attentato terroristico?).

Se, dunque, è corretto che la comunità scientifica proceda e si esprima solo sulla base di conoscenze, prove ed evidenze, tutti elementi che possono richiedere molto tempo per emergere, tempi anche superiori alla durata di una pandemia, questo non è giustificabile nel caso di un qualunque decisore che abbia il compito di gestire il rischio in una condizione di elevata incertezza in presenza di simili fenomeni, non potendo questi limitarsi esclusivamente alla conoscenza positiva per agire.

Oggi, infatti, l’attuale paradigma scientifico basato sulla premessa che la maggioranza delle malattie respiratorie infettive, tra cui la COVID-19, si trasmetta principalmente attraverso *droplet* potrebbe determinare gravi conseguenze per il controllo della pandemia ove si rivelasse errato e portasse a trascurare o sottovalutare altre possibilità.

Droplet e aerosol

La trasmissione tramite *droplet* è riconducibile a quelle circostanze nelle quali il soggetto infetto e quello suscettibile si trovano vicini, a una distanza che, nei vari D.P.C.M. succedutisi in questi mesi, è stata identificata pari a un metro.

Per *droplet* si intendono le goccioline di saliva e altre secrezioni emesse dal naso e dalla bocca respirando,

parlando, starnutando, tossendo. Fin dagli inizi del ‘900 si dimostrò che il *droplet* può essere vettore per microrganismi (erano denominate allora “goccioline di Flügge” dal nome del batteriologo tedesco che per primo riuscì a dimostrarlo) anche se all’epoca si pensava che ciò fosse vero solo per particelle di dimensioni superiori a 100 μm (3).

In ragione delle dimensioni e del peso delle goccioline, la forza di gravità agirebbe in modo preponderante su tali particelle determinandone la sedimentazione in tempi rapidi sul pavimento o altre superfici percorrendo solo una breve distanza. Nel caso peggiore, esse potrebbero essere intercettate da un soggetto suscettibile e venire da esso inalate, con conseguente ingresso dell’agente patogeno all’interno dell’organismo e potenziale inizio dell’infezione.

Uno studio sperimentale condotto nel 1942 (Jennison) utilizzando un’apparecchiatura fotografica concluse che la maggioranza di tali particelle, generate parlando, starnutando o tossendo, cadono entro un metro dal punto di emissione, lunghezza che divenne una sorta di “standard” nel definire la distanza interpersonale volta a prevenire il contagio tramite *droplet*.

Già a partire dall’uso che di questa conoscenza è stato fatto, è possibile intravedere le conseguenze di decisioni non adeguate. Nel tempo, infatti, sono stati condotti alcuni altri studi che hanno cercato di comprendere quale fosse la distanza orizzontale percorsa dal *droplet* ed è di recente pubblicazione uno studio sistematico (Bahl et al., 2020) (4) degli esiti delle indagini più recenti (Figura 1) che non confermano i risultati dello studio iniziale di Jennison (giustificati dalla limitazione dalle tecnologie disponibili nel 1942) e che, al contrario, implicherebbero un’ampia inadeguatezza della distanza di un metro.

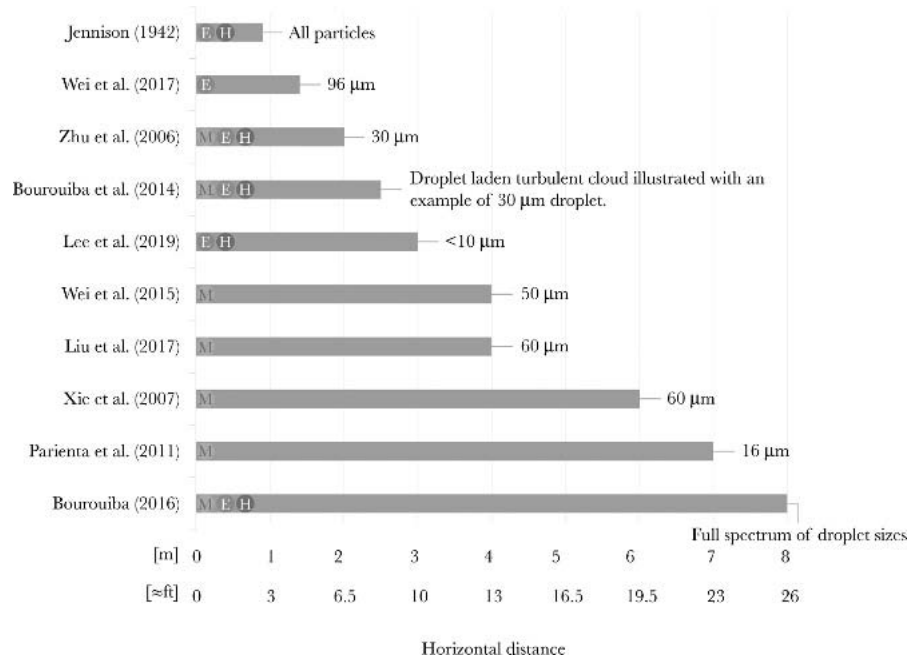
Questa non è l’unica premessa che potrebbe richiedere una messa in discussione di alcune delle più comuni modalità di gestione del rischio di contagio. Altre perplessità sono rivolte alla classificazione e distinzione tra trasmissione tramite *droplet* e tramite aerosol (cosiddetta trasmissione aerogena o aerea). Nella prima metà del secolo scorso Wells (1934) pose le basi di questa dicotomia descrivendo il comportamento delle particelle espulse in funzione delle loro dimensioni, del tempo di sospensione e dell’evaporazione delle stesse nel corso del loro tragitto verso

Per “non lineare” intendo fenomeni le cui conseguenze crescono in velocità e in maniera non direttamente proporzionale all’entità dell’evento, come una pandemia.

(3) 1 micron = 1/1000 di millimetro.

(4) “Airborne or Droplet Precautions for Health Workers Treating Coronavirus Disease 2019?”, in *The Journal of Infectious Diseases*, 16 aprile 2020.

Figura 1 - Distanza orizzontale percorsa dal droplet



terra. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) utilizza, ad esempio, una soglia pari a 5 μ per distinguere le particelle tra aerosol ($\leq 5 \mu$) e *droplet* ($> 5 \mu$) (5), un valore che, analogamente al caso appena visto della distanza di un metro, ha origini storiche ed è spesso impiegato in ambito scientifico in modo acritico e rigido, senza tenere in adeguata considerazione nuove conoscenze che tendono a mettere in discussione questo *cut-off* nonché l'idea stessa che esista una soglia dalla quale si passi dal *droplet* all'aerosol e viceversa.

Se, come già detto, la trasmissione tramite *droplet* presuppone la prossimità tra soggetto infetto e soggetto suscettibile, nel caso di particelle di aerosol le forze di galleggiamento prevarrebbero sulla forza di gravità e queste rimarrebbero sospese nell'aria per tempi prolungati (decine di minuti o ore) e, di conseguenza, esporrebbero potenzialmente al contagio una maggiore quantità di individui suscettibili, anche in ragione della distanza dalla fonte di emissione che esse potrebbero percorrere trasportate da correnti d'aria.

Occorre aggiungere che la trasmissione aerogena sarebbe anche legata ai cosiddetti *droplet nuclei*

ovvero particelle solide derivanti dall'essiccazione di *droplet* nel loro percorso verso terra nonché dalla possibile risospensione in aria di eventuali *droplet* sedimentati e successivamente essiccati in *droplet nuclei*. È comprensibile che escludere per assenza di prove questa via di trasmissione potrebbe modificare radicalmente il quadro generale delle misure di prevenzione e protezione suggerite dalle autorità, in quanto, come accaduto nel caso della precedente epidemia di SARS (2003) si finirebbe con l'escludere la rilevanza degli impianti di condizionamento ed aerazione nella diffusione del contagio, nonché l'importanza dei cosiddetti *super-spreader* (superdiffusori).

Solo per pochi agenti patogeni è stata sinora riconosciuta (in quanto dimostrata) la trasmissione aerogena, per esempio la tubercolosi, il morbillo, la varicella (6). Ma, perfino nel caso di comuni patogeni quali l'influenza, il rinovirus e alcuni virus gastrointestinali, non si riesce ad andare oltre ad "alcune evidenze" (7) principalmente per le difficoltà tecniche associate al campionamento di particelle virali ancora vitali in aria.

(5) "Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care", in WHO, 2007.

(6) "2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings", aggiornate a luglio 2019, CDC.

(7) Ibid.

Va altresì detto, per evitare pericolose fallacie logiche che portino a sottovalutare l'importanza di ciò che si sa di non sapere, che ad oggi nessuno studio è mai riuscito a documentare con certezza l'esistenza di un'infezione respiratoria che si trasmetta esclusivamente tramite *droplet* e fomiti, escludendo la trasmissione per via aerea. Non ci sono semplicemente elementi sufficienti per escludere che la via aerogena sia una via di trasmissione efficace.

La stessa distinzione tra *droplet* e aerosol e l'insistenza verso un modello di trasmissione eccessivamente semplificato che contempra l'una o l'altra via potrebbero minare il processo di comprensione dei meccanismi di contagio. Poiché una persona in prossimità di un soggetto infetto sarebbe investita contemporaneamente da particelle di *droplet* e aerosol, è evidentemente difficile concludere che il contagio sia avvenuto esclusivamente dalle prime e non dalle seconde e, soprattutto, escludere che possa essere stato determinato da entrambe.

Oltretutto, le particelle di diametro più piccolo hanno la capacità di penetrare in profondità nel tratto respiratorio (si pensi alle PM10, dove 10 è il diametro delle particelle espresso in micron) e dunque giungere fino ai polmoni dove il virus può iniziare il proprio processo di replicazione e dare origine alle conseguenze più gravi dell'infezione. Pur in assenza di prove, anche in questo caso, è ben comprensibile come possa essere un gravissimo errore escludere con leggerezza dalle analisi di gestione del rischio quegli elementi che hanno il potere di modificare drasticamente gli scenari. E questi appena rappresentati e molti, moltissimi altri fattori ancora ci sfuggono nella comprensione del fenomeno.

Il ruolo dell'aerazione

Nonostante la difficoltà di condurre studi affidabili sulla questione, non poche indagini condotte su specifici focolai inducono a non escludere la trasmissione mediante aerosol in determinati contesti anche per le conseguenze che essa determina.

In uno studio (8) che ha riguardato un *cluster* in Cina partito all'interno di un autobus di fedeli buddisti, si è potuto verificare come il soggetto infetto (1P, v. schema in Figura 2) sia riuscito a contagiare, pur essendo presintomatico, in 100 minuti (durata complessiva del viaggio tra andata e ritorno) il 35% dei passeggeri (rettangoli colorati), alcuni dei quali

seduti a oltre 5 m di distanza. L'assenza di contagi tra altri fedeli presenti alla cerimonia ma che non viaggiavano nel medesimo autobus, l'assenza di altri soggetti infetti al di fuori del paziente "zero" e altri fattori tenuti in considerazione nello studio conferiscono una certa rilevanza alle conclusioni dei ricercatori. In particolare, esso portano a non escludere (anzi a suggerire) che le particelle infettanti siano state trasportate dall'impianto di condizionamento con ricircolo d'aria dell'autobus. L'evento è accaduto a gennaio 2020 e nessuno dei passeggeri indossava una mascherina di qualche tipo, poiché ancora la percezione del fenomeno e la conoscenza dell'esistenza stessa di un'epidemia erano basse tra la popolazione (si ricorda che lo stato di emergenza è stato dichiarato dall'OMS il 30 dicembre 2019).

In un altro studio (9) ancora, è stato analizzato un focolaio iniziato in un ristorante in Cina. Nuovamente l'evento risale a gennaio e il paziente zero sarebbe stato presintomatico.

In questo caso, schematizzato in Figura 3, il paziente zero (rappresentato dalla sigla A1) sarebbe riuscito a contagiare altre 9 persone, alcune delle quali appartenenti ad altri nuclei familiari seduti ai tavoli B e C. Come si vede alcuni di essi si trovano alle spalle di A1, altri (es. C2) a una distanza di almeno 3 m dal soggetto infetto e, per giunta, controvento, in direzione opposta al flusso d'aria emesso dallo *split* di condizionamento. Il tempo di contatto tra i tavoli A e B sarebbe stato 53 minuti. Quello tra A e C 73 minuti.

I ricercatori affermano che la trasmissione non può essere spiegata semplicemente tramite *droplet*, avendo anche escluso contatti indiretti tra i tavoli. Piuttosto il condizionatore avrebbe svolto una funzione di "lama d'aria" che avrebbe tutelato dal contagio le persone sedute ai tavoli E e F, ma generato un flusso d'aria che, rimbalzando contro la parete vetrata alle spalle di B, sarebbe tornato indietro, portando le goccioline fino al tavolo C.

Il calcolo del rischio

Nonostante l'assenza di prove definitive, a queste analisi narrative si aggiungono molti altri studi che in questi mesi hanno:

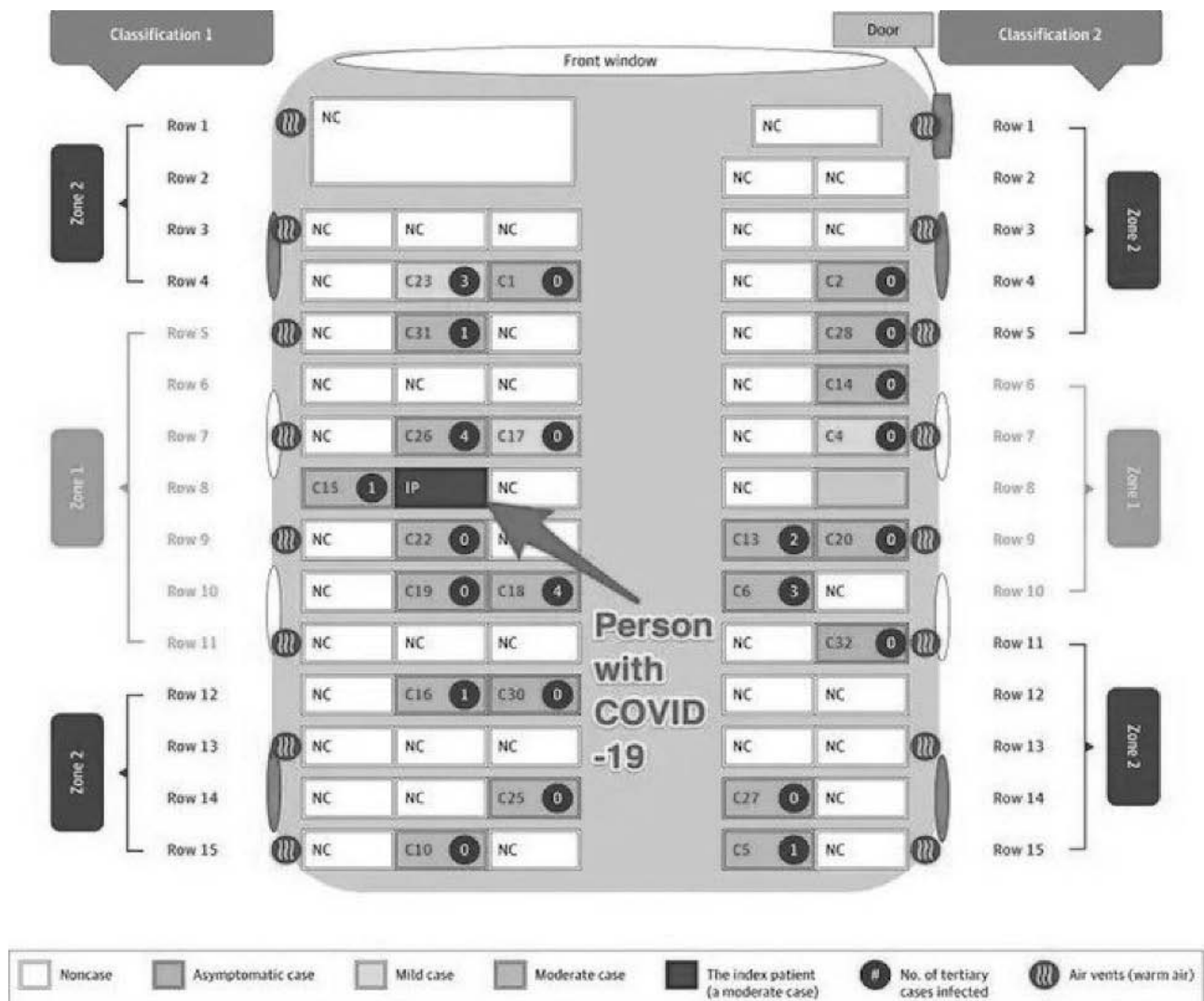
— dimostrato la capacità del virus SARS-CoV-2 di rimanere vivo in aerosol per almeno 3 ore (10) (Van Doremalen et al., 2020);

(8) "Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China", in *JAMA Intern Med.*, online 1° settembre 2020.

(9) "COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020", in *Emerg Infect Dis.*, 2020.

(10) "Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1", in *New England Journal of Medicine*, 2020.

Figura 2 - Schema dei posti a sedere



— suggerito la possibilità che l'infezione si diffonda mediante bioaerosol generati direttamente dalle espirazioni dei pazienti (11) (v. Figura 2);

— non esclusa l'ipotesi che il virus si diffonda tra il soggetto infetto e quello suscettibile semplicemente parlando (12) (Anfinrud et al. 2020).

Questi e altri risultati suggeriscono e parzialmente spiegano la maggiore capacità del contagio di diffondersi all'interno degli ambienti chiusi.

Paradossalmente, anche se si dimostrasse falsa la tesi secondo la quale il contagio avverrebbe soprattutto tramite *droplet*, l'insistenza sul mantenimento di una

distanza interpersonale porterebbe comunque un beneficio non trascurabile anche nella prevenzione dell'infezione tramite aerosol. Tuttavia, essa non sarebbe sufficiente (come peraltro in tanti sospettano) se non accompagnata dall'impiego diffuso di mascherine, dalla riduzione dell'affollamento negli ambienti chiusi, dalla riduzione dei tempi di permanenza all'interno degli ambienti chiusi.

E purtroppo l'insistenza a considerare obbligatorio l'uso delle mascherine nei luoghi di lavoro (e non solo) nei soli casi nei quali non possa essere mantenuta la distanza interpersonale non aiuta la diffusione

(11) "Rapid Expert Consultation on the Possibility of Bioaerosol Spread of SARS-CoV-2 for the COVID-19 Pandemic", in National Research Council, 2020.

(12) "Visualizing speech-generated oral fluid droplets with laser light scattering", in New England Journal of Medicine, 2020.

Figura 3 - Schema dei tavoli al ristorante

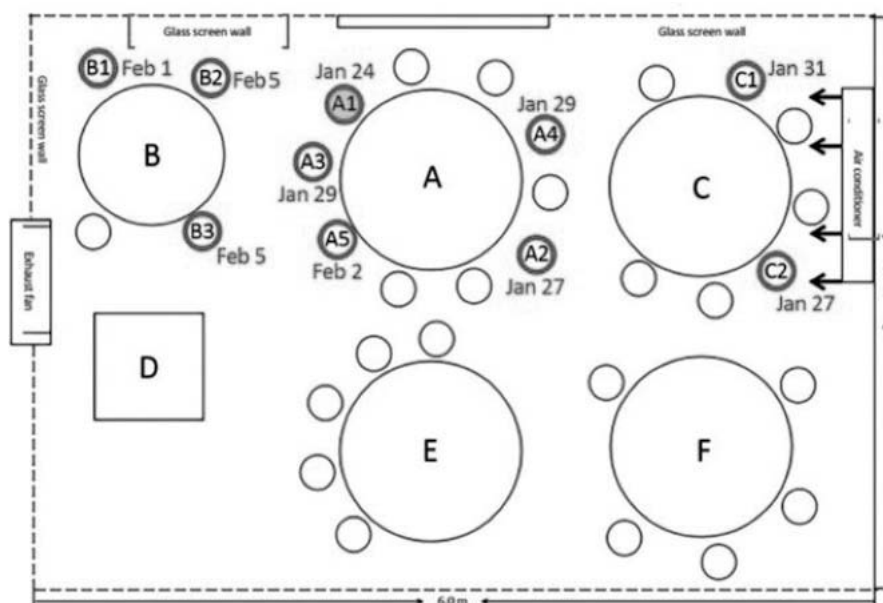


Tabella 1 - Tassi orari di generazione di quanti (q) emessi da un individuo infetto e valore di R₀ caratteristico

Infezione	q [h ⁻¹]	R ₀	Riferimento
Tubercolosi	1-50	2,22-5,46	Stephens 2012; Li et al. 2018
MERS	6-140	0,50-1,20	WHO 2019
SARS	10-300	2,00-5,00	WHO 2003
Influenza	15-500	1,60-3,00	Lee et al. 2012
Morbillo	570-5600	11,00-18,00	Plans Rubió 2012

di comportamenti precauzionali, confonde i destinatari di tali indicazioni, rischia di ridurre l'impatto di una misura – quella della protezione delle vie aeree – che, con un costo sostanzialmente contenuto, potrebbe avere un effetto enorme nell'economia del fenomeno.

Un modo per valutare questo impatto e il rischio di contagio all'interno degli ambienti chiusi è quello dell'impiego del modello di Wells-Riley (13), utilizzato in letteratura per dimostrare l'importanza di alcuni parametri costruttivi, in particolare il tasso di ventilazione, nella prevenzione della trasmissione aerogena.

Il modello di Wells-Riley si basa sul concetto di *quanto* di infezione, considerato l'ipotetica unità

di dose infettiva. Un *quanto* è definito come il numero di particelle di aerosol (o *droplet nuclei*) richiesto per infettare il 63% dei soggetti suscettibili. È pertanto un valore caratteristico di ciascuna infezione e, tipicamente, viene calcolato retrospettivamente ovvero *dopo* un'epidemia, quando i successivi studi epidemiologici consentono di conoscere con buona precisione il valore di R₀ (il valore base di riproduzione) e, da questo, calcolare il valore del *quanto*.

Per fornire al lettore un termine di paragone, si riportano nella Tabella 1, per alcune infezioni, i tassi orari di generazione di *quanti* (q) emessi da un individuo infetto e il valore di R₀ caratteristico delle medesime infezioni.

(13) "Airborne spread of measles in a suburban elementary school", in *Am. J. Epidemiol.*, 1978.

Tabella 2 - Tasso orario di generazione quanti e corrispondente valore di R0 per alcune infezioni

		Resting, oral breathing	Heavy activity, oral breathing	Light activity, speaking	Light activity, singing (or speaking loudly)	
ER _q	5th percentile	2.4×10^{-2}	1.6×10^{-1}	3.2×10^{-1}	2.1×10^0	
	25th percentile	1.2×10^{-1}	8.2×10^{-1}	1.6×10^0	1.0×10^1	
	50th percentile	3.7×10^{-1}	2.5×10^0	5.0×10^0	3.2×10^1	
	75th percentile	1.1×10^0	7.7×10^0	1.5×10^1	9.8×10^1	
	90th percentile	3.1×10^0	2.1×10^1	4.2×10^1	2.7×10^2	
	95th percentile	5.7×10^0	3.8×10^1	7.6×10^1	4.9×10^2	
	99th percentile	1.7×10^1	1.2×10^2	2.4×10^2	1.5×10^3	
	log ₁₀ (ER _q)	Average	-4.29×10^{-1}	3.99×10^{-1}	6.98×10^{-1}	1.50×10^0
		Stand. dev	7.20×10^{-1}	7.20×10^{-1}	7.20×10^{-1}	7.20×10^{-1}

L'equazione di Wells-Riley è la seguente:

$$P = \frac{I}{S} = 1 - e^{-\frac{I}{S} Q}$$

dove:

P è la probabilità di contrarre l'infezione;
 C è il numero di persone che sviluppano l'infezione;
 S è il numero di persone suscettibili;
 I è il numero di soggetti infetti;
 q è il tasso orario di generazione di *quanti* da parte del soggetto infetto (h⁻¹);
 p è il tasso di ventilazione polmonare dei soggetti suscettibili (m³h⁻¹);

t è il tempo di esposizione (h);

Q è il tasso di ventilazione nell'ambiente, in sostanza la portata di aria non contaminata in ingresso (m³h⁻¹).

Il modello originale di Wells-Riley pone due assunti rilevanti:

1) miscelazione perfetta e, pertanto, distribuzione omogenea delle particelle infettive nel volume di aria considerato;
 2) stazionarietà e, pertanto, invarianza nel tempo. Vale la pena precisare che, a partire dall'equazione originale, è stato derivato un modello non stazionario (14) (Gammaitoni e Nucci, 1997), tutt'altro che

(14) "Using Maple to analyze a model for airborne contagion", in *MapleTech*, 1997.

complesso da utilizzare. Di seguito, tuttavia, si presenterà un'ipotesi di caso studio per il quale l'uso dell'equazione originale è più che indicata per consentire al lettore di valutare il rischio e farsi un'idea dell'utilità di questo approccio.

Nel caso di COVID-19 ancora non è noto il dato relativo al tasso di generazione di *quanti* da parte del soggetto infetto. Sono stati condotti alcuni studi da diversi ricercatori basandosi sugli esiti di cluster reali, calcolando retrospettivamente quale dovesse essere il valore di *q* necessario per produrre gli effetti osservati. Si farà riferimento nel seguito agli esiti di uno studio (15) in particolare (Buonanno et al., 2020) dal quale si traggono i risultati riportati in Tabella 2, dove ER_q rappresenta il tasso di generazione di *quanti*. Come si vede, in questa tabella, esso è funzione anche - come ci sarebbe da aspettarsi - della tipologia di attività svolta che, a sua volta, influenza l'attività respiratoria del soggetto infetto.

È necessario sottolineare che il valore di emissione più attendibile, secondo l'autore dello studio, sarebbe quello corrispondente al 66° percentile.

Poiché nella precedente tabella sono riportati sia i valori della media che della deviazione standard, per cui è possibile derivare quello relativo al 66° percentile:

- riposo, respirazione orale: $q = 0,72 \text{ h}^{-1}$;
- attività pesante, respirazione orale: $q = 4,9 \text{ h}^{-1}$;
- attività leggera, parlare: $q = 9,7 \text{ h}^{-1}$;
- attività leggera, cantare (o parlare forte): $q = 62 \text{ h}^{-1}$.

Al fine di tenere in conto tutti i possibili contributi derivanti dall'adozione di misure preventive e protettive, si utilizzerà un'equazione di Wells-Riley modificata (16) (è possibile vedere questi singoli ulteriori contributi come dei ricambi d'aria supplementari):

$$P = 1 - e^{-Q + \lambda_p V + \lambda_{dep} V + \lambda_R V}$$

dove:

η_I rappresenta l'efficienza filtrante in fase di inspirazione di una maschera/facciale;

η_E rappresenta l'efficienza filtrante in fase di espirazione di una maschera/facciale;

V è il volume dell'ambiente chiuso (m^3);

λ_v è il tasso di inattivazione virale (h^{-1}). Sulla base di studi (Doremalen, 2020), tale valore per il SARS-CoV-2 può essere considerato pari a $0,64 \text{ h}^{-1}$;

λ_{dep} è il tasso di sedimentazione (h^{-1}). Sulla base di studi (Thatcher et al, 2002), tale valore può essere considerato pari a $0,24-0,30 \text{ h}^{-1}$;

λ_R è il tasso di rimozione virale (h^{-1}) derivante dalla presenza o meno di altre misure (esempio lampade UV, filtri HEPA, ecc.).

Ipotizziamo, pertanto, la presenza di una persona infetta all'interno di un ambiente chiuso di 150 m^3 (quale uno spazio di 50 m^2 di superficie per un'altezza al soffitto di 3 m).

In assenza di impianti di ventilazione meccanica, mantenendo le finestre chiuse, il ricambio con aria pulita è unicamente quello derivante da eventuali trafiletti da parte degli infissi, apertura porte, ecc. Può essere ipotizzato pari a 0,2 ricambi orari, corrispondenti ad una portata di aria Q di $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Non sono presenti ulteriori misure di riduzione del rischio e nessuno degli occupanti indossa una mascherina di protezione.

Al fine di assegnare i valori al tasso di ventilazione polmonare, si utilizzeranno i dati riportati nella Tabella 3 (17).

Nell'ipotesi in cui l'attività svolta fosse "leggera" e consistesse nel semplice parlare con voce moderata, sia per ciò che concerne il soggetto infetto che i soggetti suscettibili presenti nell'ambiente, avremmo:

- $q = 9,7 \text{ h}^{-1}$ (basandoci sul 66° percentile);
- $p = 0,78 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (basandoci sul 50° percentile, ovvero la media, per quanto concerne il tasso di respirazione).

Impiegando l'equazione di Wells-Riley (ipotizzando un tasso di sedimentazione pari a $0,24 \text{ h}^{-1}$) i valori di P , ovvero delle probabilità di infezione, in funzione dei tempi di contatto tra soggetto infetto e soggetti suscettibili risultano i valori in Tabella 4(A).

Tabella 3 - Tasso di ventilazione polmonare

Attività	Media ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)	95° percentile ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)
Sedentaria passiva	0,31	0,43
Leggera	0,78	0,96
Moderata	1,62	2,28
Intensità elevata	2,94	4,56

(15) "Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications", in *Environment International*, 2020.

(16) Un foglio di calcolo è disponibile gratuitamente sul blog dell'autore all'indirizzo <https://ottantunozerotto.wordpress.com/>

2020/09/15/calcolatore-del-rischio-di-trasmissione-del-contaggio-tramite-aerosol/.

(17) Tratta da *Exposure Factors Handbook*, capitolo 6 - *Inhalation rates*, 2011.

Tabella 4 - Probabilità di infezione, in funzione dei tempi di contatto tra soggetto infetto e soggetti suscettibili, con equazione di Wells-Riley

	Tempo di contatto (min)	Probabilità di contagio (%)
A		
	30	0,53
	60	1,80
	120	5,37
	240	13,42
B		
Con mascherine	30	0,13
	60	0,45
	120	1,37
	240	3,54
C		
Con mascherine e ventilazione	30	0,10
	60	0,29
	120	0,72
	240	1,59

Se, nell'ipotesi precedente, si aggiungesse l'adozione e l'uso di mascherine da parte dei presenti (soggetto infetto e soggetti suscettibili) per l'intera durata del contatto, anche supponendo che l'efficienza delle stesse fosse solo del 50% sia in fase di espirazione che di inspirazione, si otterrebbero i risultati in Tabella 4(B).

Se inoltre si aggiungesse anche un'aerazione meccanica in grado di garantire 2 ricambi di aria l'ora (un valore tipico per gli uffici), il suddetto rischio si riduce ai valori in Tabella 4(C).

Conclusioni

Nonostante i limiti del modello e l'incertezza intorno al tasso di emissione di *quanti* derivante da studi ancora non definitivi, ciò che si ritiene essere interessante dell'esempio appena presentato non è di per

sé il valore esatto del rischio calcolato, quanto gli ordini di grandezza delle probabilità in gioco e l'impatto che hanno misure ordinarie quali il ricambio d'aria e l'adozione di mascherine, elementi che consentono a chi esegue una valutazione del rischio di contagio all'interno di ambienti chiusi di fare le dovute considerazioni. Il calcolo potrebbe essere ripetuto facendo riferimento all'organizzazione di un ipotetico corso di formazione, per comprendere se - indipendentemente da ciò che le linee guida prevedono e i D.P.C.M. consentono - possa essere opportuno svolgere tale attività "in presenza".

Si noti, tra l'altro come gli esiti di questi semplici calcoli confermino quanto sbagliato possa essere trascurare la fonte di trasmissione aerogena, sottovalutando la rilevanza dello semplice stare all'interno di ambienti chiusi poco ventilati per tempi di qualche decina di minuti, evitando di indossare mascherine perché è "garantita" la distanza interpersonale di un metro.

Purtroppo, mentre si accumulano evidenze scientifiche (il 5 ottobre scorso il CDC - *Centers for Disease Control and Prevention* - ha riconosciuto diversi casi di trasmissione avvenuta fra persone a più di due metri di distanza, in ambienti chiusi con una scarsa ventilazione e con un'esposizione superiore ai 30 minuti), si accumulano anche i contagi e le loro conseguenze.

Già a luglio scorso 239 scienziati di 32 Paesi hanno lanciato un appello all'OMS, chiedendole di rivedere la propria posizione. Infatti, nonostante l'Organizzazione Mondiale della Sanità non neghi la possibilità della trasmissione aerogena per il SARS-CoV-2, essa continua a sottovalutarne la consistenza a causa dell'insufficienza di prove a sostegno dell'ipotesi e, di fatto, non agendo secondo il "principio di precauzione" nella definizione delle misure e delle indicazioni da dare (ne è un esempio il fatto che tuttora le indicazioni dell'OMS ne consigliano l'impiego solo in quei casi nei quali la distanza interpersonale non possa essere garantita e per soggetti sensibili (18)).

È questa una visione che - a parere di chi scrive - se ha una sua ragion d'essere nell'ambito dell'ambiente scientifico dove i progressi devono essere supportati da prove solide, non può, al contrario, essere sostenuta in un'ottica di gestione di rischi sistemici come quella attuale.

(18) "Advice on the use of masks in the context of COVID-19", in WHO, 5 giugno 2020.