

WG3 Covid-19 e variabili meteo-climatiche (doc versione 20/04/20)

Sommario

La possibile correlazione tra diffusione di virus e grandezze meteorologiche, in particolare temperatura e umidità, è stata oggetto di numerosi studi. Queste ricerche hanno mostrato che la relazione con i fattori meteorologici dipende dal tipo di virus, anche all'interno della stessa famiglia; è quindi difficile trarre delle conclusioni di carattere generale.

Per il SARS-CoV-2, il coronavirus responsabile della COVID-19, gli studi realizzati sinora hanno mostrato che le zone dove la trasmissione è stata maggiore sono distribuite lungo una fascia che si estende alle medie latitudini (tra circa 30° e 50 °N), in presenza di temperature medie tra 5 e 11°C, e bassi valori di umidità (umidità specifica di 4-7 g/kg). Questo virus mostra quindi una preferenza per condizioni fresche e asciutte, in modo analogo al precedente coronavirus responsabile della SARS. Per bassi valori di umidità le goccioline che trasportano il virus evaporano, riducendo pertanto la dimensione delle particelle nelle quali il virus è presente. Le particelle di ridotta dimensione (più leggere) restano così in sospensione nell' ambiente (sia esso indoor o outdoor) per un tempo più lungo.

Il Copernicus Climate Change Service (C3S), uno dei servizi tematici forniti dal programma COPERNICUS dell'Unione Europea, ha sviluppato un'applicazione per mappare la mortalità da COVID-19 in relazione ai dati di temperatura e umidità. L'applicazione consente di evidenziare, tramite un'interfaccia grafica, se questi parametri sono correlati alla diffusione del coronavirus, come suggerito recentemente da studi epidemiologici. Se i risultati delle recenti ricerche sono corretti, le condizioni estive, caratterizzate da temperature più calde e maggiore umidità, potrebbero creare condizioni ambientali meno favorevoli alla diffusione del virus nelle regioni sinora più colpite, come quelle dell'Europa meridionale.

Introduzione

In letteratura sono disponibili diversi studi scientifici in riferimento alla possibile correlazione tra lo sviluppo di virus ed alcune variabili meteo-climatiche in particolare la temperatura e l'umidità relativa o assoluta.

Dopo una breve rassegna di questi studi, riportiamo i risultati più significativi riportati in letteratura.

1. VIRUS

Marr et al. (2019) mostrano che in generale i virus sopravvivono meglio a temperature basse ed in presenza di valori bassi dell'umidità relativa (<40%). Tuttavia, si tratta di un rilievo solo tendenziale, posto che gli stessi autori hanno mostrato che alcuni virus sopravvivono bene anche con alti valori di umidità relativa (RH > 95%).

La misura dei valori indoor di umidità e temperatura è fondamentale perché la trasmissione si verifica principalmente in ambienti chiusi. Diversi lavori mostrano l'importanza dell'umidità assoluta (Shaman et al 2010).

Prel et al. (2009) hanno evidenziato che la diffusione in Germania dell'influenza A, RSV e l'adenovirus è anti-correlata con la temperatura mentre quella del rinovirus è correlata all'umidità

relativa: tenuto conto delle condizioni stagionali e climatiche, i ricoveri ospedalieri associati a RSV risultavano pertanto prevedibili.

Lowen et al. (2007) hanno evidenziato che nelle regioni temperate le epidemie influenzali si ripetono con marcata stagionalità: nell'emisfero nord la stagione influenzale si estende da novembre a marzo, mentre nell'emisfero sud le epidemie si protraggono da maggio a settembre. In un esperimento, alloggiando delle cavie infette in una camera climatizzata, sono stati condotti esperimenti di trasmissione in condizioni di temperatura e umidità controllate. L'esito di questi esperimenti ha evidenziato che la diffusione del virus dell'influenza dipende sia dall'umidità relativa dell'ambiente che dalla temperatura.

In particolare è stato rilevato che valori bassi di umidità relativa (20%-35%) favoriscono la trasmissione, laddove quest'ultima è completamente bloccata per valori elevati (80%). Inoltre, quando le cavie sono tenute a 5 °C, la trasmissione avviene con una frequenza maggiore di quando sono a 20 °C. A 30 °C non è stata rilevata alcuna trasmissione.

Le osservazioni nel loro complesso hanno fornito indicazioni secondo le quali sono la bassa umidità relativa e le temperature fredde caratteristiche dell'inverno a favorire la diffusione del virus dell'influenza.

Barreca et al. (2012) hanno utilizzato un modello di regressione non lineare per studiare simultaneamente le relazioni esistenti tra umidità assoluta, temperatura ed eventi influenzali. I risultati indicano che l'umidità assoluta è un fattore particolarmente critico per la mortalità influenzale: con livelli di umidità assoluta inferiori a circa 6 g di vapore acqueo per m³ d'aria si registra un aumento della mortalità influenzale. Le previsioni del modello supportano l'idea che circa metà delle differenze stagionali della mortalità influenzale negli Stati Uniti possano essere spiegate con le differenze stagionali dell'umidità assoluta. Anche la temperatura sembra condizionare - sebbene con risultati meno evidenti - la mortalità da influenza.

Mathilde et al. (2020) scrivono che i virus espulsi, per poter avviare una nuova infezione, devono rimanere stabili in aerosol/gocce respiratorie. Le proprietà chimico-fisiche sia dell'aria che delle particelle (tra cui la temperatura, le radiazioni ultraviolette, l'umidità e il movimento delle masse di aria) influenzano la stabilità e l'infettività del virus. Inoltre, il tasso di evaporazione degli aerosol, superiore a quello delle goccioline, potrebbe avere un impatto sulla sopravvivenza del virus.

Un articolo sul sito web della BBC (<https://www.bbc.com/future/article/20200327-can-you-kill-coronavirus-with-uv-light>) spiega che la radiazione solare nella regione UVC è particolarmente efficace nel distruggere il materiale genetico, sia nell'uomo che nelle particelle virali. La capacità della radiazione UVC di uccidere i microrganismi, dal momento della scoperta nel 1878, è diventata un metodo base di sterilizzazione. Sebbene non vi siano state ricerche che abbiano esaminato in modo specifico l'effetto UVC su SARS-CoV-2, gli studi hanno dimostrato che può essere utilizzato contro altri coronavirus, come quello responsabile della Sars. La radiazione deforma la struttura del loro materiale genetico e impedisce alle particelle virali di replicarsi. In Cina, interi autobus vengono illuminati dalla luce artificiale UVC artificiale, e lampade che emettono UVC vengono usate per pulire i pavimenti negli ospedali.

Per utilizzare UVC in sicurezza, sono necessarie attrezzature e formazione specifiche. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha emesso un rigoroso avvertimento di non usare la luce UV per sterilizzare le mani o qualsiasi altra parte della pelle.

I raggi UVA o UVB possono anche essere utilizzati come disinfettanti, lasciando gli oggetti fuori al sole, ma potrebbero richiedere molto tempo. La ricerca sulla Sars ha scoperto che l'esposizione del

virus ai raggi UVA per 15 minuti non ha avuto alcun impatto sulla sua contagiosità. Tuttavia, lo studio non ha esaminato esposizioni più lunghe, o il ruolo dei raggi UVB, che è noto essere più dannoso per il materiale genetico. Invece, altri virus, come l'influenza, hanno mostrato risultati interessanti. Ovviamente, una volta che il virus è all'interno di un corpo, nessuna quantità di UV avrà alcun impatto.

2. CORONAVIRUS

I coronavirus sono una vasta famiglia di virus noti per la capacità di generare malattie che vanno dal comune raffreddore a malattie più gravi come la Sindrome respiratoria mediorientale (MERS) e la Sindrome respiratoria acuta grave (SARS).

Uno studio eseguito nel sud del Brasile ha mostrato che le infezioni del tratto respiratorio indotte da coronavirus sono favorite dalle basse temperature (Trombetta et al., 2016).

Di contro, uno studio condotto in Arabia ha mostrato che il coronavirus MERS-CoV ha una crescente incidenza tra aprile e agosto. Gli alti valori della temperatura, l'alto indice ultravioletto, i bassi valori della velocità del vento e dell'umidità relativa contribuiscono all'aumento dei casi dovuti a MERS-CoV (Altamimi and Ahmed, 2019).

In sintesi la dipendenza della attività dei virus dai fattori meteorologici non cambia solo da virus a virus, ma anche all'interno della stessa famiglia di virus (come nel caso dei coronavirus).

Chan et al. (2011) indicano che la principale via di trasmissione dell'infezione da SARS-CoV è costituita dalle goccioline respiratorie. Il loro studio ha riguardato in particolare la stabilità del virus per diversi valori di temperatura ed umidità relativa su superfici lisce. Il virus essiccato su superfici lisce ha mantenuto la sua vitalità per oltre 5 giorni a temperature di 22-25°C e umidità relativa del 40-50%. Tuttavia, la vitalità del virus è venuta rapidamente degradando a temperature più elevate e con valori di umidità relativa più elevata (ad esempio, 38°C, e umidità relativa >95%). Pertanto, le migliori condizioni per la stabilità del coronavirus della SARS si hanno con bassi valori della temperatura ed umidità ambientale, condizioni che possono facilitare la sua trasmissione in comunità in zone subtropicali (come Hong Kong) durante la primavera o in ambienti climatizzati. Questo può spiegare perché alcuni paesi asiatici nell'area tropicale (come la Malaysia, l'Indonesia o la Thailandia) con ambienti ad alta temperatura e alta umidità relativa non hanno registrato grandi epidemie di SARS nelle loro comunità.

3. COVID-19

Sajadi et al. (2020) hanno osservato che le aree con una significativa trasmissione di SARS-CoV-2, il coronavirus responsabile della COVID-19, sono distribuite approssimativamente lungo il corridoio 30-50°N in presenza di condizioni meteorologiche simili, ovvero temperature medie di 5-11°C, e bassi valori della umidità specifica (4-7 g/kg).

Wang et al. (2020) mostrano che valori elevati della temperatura e dell'umidità relativa hanno contribuito a ridurre significativamente la trasmissione del SARS-CoV-2 in Cina: pertanto l'arrivo dell'estate e della stagione delle piogge nell'emisfero settentrionale potrebbero contribuire a ridurre efficacemente la trasmissione della COVID-19.

Araujo and Naimi (2020) hanno evidenziato che il SARS-CoV-2 mostra preferenza per condizioni fresche e asciutte. Il predecessore SARS-CoV era associato a simili condizioni climatiche.

Bukhari and Jameel (2020), analizzando diverse migliaia di casi in regioni con temperatura media >18°C, sino al 22 marzo 2020, osservano che il ruolo della temperatura nel rallentare la diffusione del SARS-CoV-2 è registrato solo a temperature molto elevate. L'intervallo di umidità assoluta per la maggior parte dei casi è compreso tra 3 e 9 g/m³. I dati attuali, sebbene limitati, suggeriscono che è estremamente improbabile che la diffusione del SARS-CoV-2 possa rallentare nel periodo estivo nella maggior parte degli Stati Uniti o in Europa, a causa di fattori ambientali.

Carleton and Meng (2020) presentano uno studio a scala globale aggiornato al 15 marzo 2020 in cui mostrano come un aumento di temperatura riduca la diffusione del virus. A seguire, effettuano una proiezione su cosa aspettarci nei prossimi mesi.

Ficetola e Rubolini (2020) arrivano a conclusioni simili a Carleton and Meng (2020), sottolineando il ruolo di temperatura e umidità (picchi di diffusione a circa 5°C e 4 g/kg di umidità specifica), ma evidenziano una dipendenza non lineare tra diffusione e parametri ambientali.

Luo et al (2020) analizzano la relazione esistente in Cina tra umidità e diffusione del SARS-CoV-2 e trovano che i cambiamenti nelle condizioni meteorologiche (ad esempio, incremento di temperatura e umidità nell'emisfero nord nei prossimi mesi), non produrrà necessariamente una riduzione di casi senza l'adozione di estese misure di contenimento.

In sintesi nella maggioranza degli articoli viene mostrato che il SARS-CoV-2 mostra preferenza per condizioni fresche e asciutte. Il predecessore SARS-CoV era associato a simili condizioni climatiche.

Il Copernicus Climate Change Service (C3S*) ha sviluppato un'applicazione per mappare la mortalità in relazione ai dati di temperatura e umidità. *"L'applicazione permette alle autorità sanitarie e ai centri di epidemiologia di esplorare le affermazioni secondo cui la temperatura e l'umidità potrebbero influenzare la diffusione del coronavirus"*, spiega il direttore del C3S, Carlo Buontempo.

"L'applicazione indica che se la temperatura e l'umidità influenzano la diffusione del coronavirus come suggerito recentemente da studi epidemiologici, l'arrivo di un clima più caldo e umido potrebbe potenzialmente creare condizioni ambientali meno favorevoli alla diffusione del virus nelle regioni più colpite del sud Europa".

4. PROCESSI UTILI ALLA COMPrensIONE DEL RUOLO DELLA TEMPERATURA e DELL'UMIDITA' RELATIVA NELLA PERMANENZA E TRASMISSIONE IN ARIA DEL SARS-CoV-2

Marr et al. (2019) mostrano chiaramente i processi che mettono in relazione dimensione della "particella" virus+fluido respiratorio (le cosiddette droplets), con temperatura, umidità e processo di deposizione. Per bassi valori dell'umidità relativa (ad esempio, 20%) l'acqua (il fluido respiratorio) che avvolge il virus può evaporare e le particelle diminuire di dimensione (l'umidità relativa quindi controlla la dimensione finale delle particelle). Le particelle di ridotta dimensione possono pertanto rimanere sospese nell'ambiente (indoor o outdoor) per un tempo maggiore.

5. LAVORO FUTURO

E' in corso un'analisi a scala regionale (C. Pasquero). E' stato calcolato il fattore di crescita beta (assumendo crescita esponenziale, che è un'ottima approssimazione per tempi iniziali) nelle prime due settimane dall'inizio della diffusione del virus (definito come l'istante in cui il numero di positivi =100) in ogni regione italiana. E' stata analizzata la variazione del fattore beta nel tempo (le regioni

che sono partite più tardi hanno beta minore, forse in conseguenza della limitazione imposta alle interazioni sociali) e nello spazio. I valori del fattore beta sono stati correlati con i valori della temperatura ed umidità media in ogni regione (da dati ERA5) nelle due settimane precedenti l'innescò.

Questa analisi preliminare evidenzia una correlazione con la temperatura, ma non può escludersi che ciò potrebbe essere semplicemente dovuto al fatto che le regioni del sud (più calde) sono state interessate dopo dalla COVID-19 (quando le restrizioni erano già in atto, sia per decreto che per cambiamento dei comportamenti dovuti ad una sensibilizzazione della popolazione). Occorre pertanto necessariamente integrare l'analisi con dati di mobilità e densità della popolazione (i contatti e gli scambi tra gli individui in Pianura Padana sono ovviamente maggiori che nel resto d'Italia).

6. PROCESSI DI EMISSIONE E TRASPORTO IN ATMOSFERA

Oltre allo studio degli effetti di temperatura e umidità sulla permanenza in aria delle particelle contenenti il virus, è di interesse valutare se e come queste particelle possano essere trasportate in atmosfera, per effetto di vento e turbolenza. Lo studio della dispersione di agenti patogeni, quali i virus, a breve o lunga distanza è determinato da diversi fattori. Innanzi tutto, dall'identificazione e caratterizzazione del termine di sorgente, ovvero quanto virus-aerosol è stato emesso nell'aria ambiente; quindi, dalla determinazione del valore di soglia per la dose minima di virus necessaria ad infettare un recettore; infine dalla descrizione dell'interazione con l'aria ambiente, dei processi di trasporto e dispersione che si verificano in atmosfera, tenendo conto dei processi di rimozione quali deposizione e decadimento biologico (*biological decay*), a cui il virus-aerosol è soggetto. È inoltre necessario distinguere emissioni in ambiente confinato (indoor) o in atmosfera esterna (outdoor), in quanto i processi fisici di dispersione avvengono in condizioni diverse e quindi agiscono in modo differente.

In atmosfera, una volta emesso, anche sotto forma di jet per via di un'alta velocità di emissione, sul 'tracciante' aerosol il processo di 'mescolamento' - *entrainment* - con l'aria ambiente agisce immediatamente in modo tale da diffondere la massa del tracciante. Si può supporre che la diffusione, e conseguente diluizione, dell'aerosol nell'aria ambiente contribuisca a diluire anche la carica virale, che quindi perde di efficacia infettiva. Maggiore è la distanza, e quindi più efficace diffusione e diluizione, minore diventa la probabilità di inalare quantità di particelle con carica virale sufficiente a infettare una persona. Anche quando le particelle di aerosol viaggino a distanze superiori al metro, è da chiarire se e quanto virus trasportino con sé, fungendo da 'vettori'. È noto che la maggior parte del virus risiede nelle gocce più grandi, che tendono comunque a depositarsi rapidamente. I processi di emissione, quali espirazione, tosse, starnuto (termine 'sorgente') e la distanza su cui possono avere effetto sono tuttora in fase di studio. Bourouiba (2020) suggerisce di superare la dicotomia tra particelle grandi e piccole, a cui è stato fatto finora riferimento, proponendo un nuovo approccio che tenga conto dell'interazione con l'aria ambiente. In particolare, evidenzia che l'emissione è composta da un *puff* di gas turbolento che si "mescola" (*entrainment*) con l'aria ambiente, intrappolando e trasportando con sé particelle caratterizzate da un continuum di dimensioni. Data la quantità di moto iniziale e l'effetto di 'intrappolamento' del puff turbolento, secondo Bourouiba le particelle patogene potrebbero essere trasportate a distanze maggiori, sempre però in funzione delle variabili termiche e dinamiche dell'aria ambiente (citazione: "*The degree and rate of evaporation depend strongly on ambient temperature and humidity conditions, but also on the inner dynamics of the turbulent puff cloud coupled with the composition of the liquid exhaled by the patient*"). Blocken et al. (2020) hanno elaborato diverse simulazioni numeriche con un modello fluidodinamico (CFD, Computational Fluid Dynamics) per stabilire la distanza di

sicurezza per individui in movimento (camminata, corsa). Nel limite del non considerare l'effetto del vento, dalla loro analisi risulta che, assumendo che 1.5 m sia la distanza da mantenere per due persone ferme, tale valore deve essere aumentato a 5 m e 10 m per individui che si muovano, camminando veloce o correndo, nella scia di un'altra persona.

Lo studio del trasporto e dispersione in atmosfera, anche su lunghe distanze, di agenti patogeni tra cui i virus, è un campo di ricerca relativamente recente e non ancora consolidato. Campionamenti e modellistica numerica sono stati utilizzati, per esempio, da Gonzalez-Martin et al. (2018), per studiare il possibile contributo delle polveri desertiche provenienti dall'Africa come veicolo di trasporto di patogeni, fenomeno che non ha trovato conferma nel loro lavoro. Molti studi hanno riguardato il trasporto a corta e lunga distanza del virus Foot-and-Mouth (FMD), dove però si trattano sorgenti relativamente estese quali sono gli allevamenti di animali, spesso intensivi, che possono avere effetti a lungo raggio. In Kritana et al. (2014) modellistica di dispersione atmosferica, basata su un modello Lagrangiano a puff, è stata applicata come strumento per un programma nazionale di controllo della diffusione del virus FMD in Corea. Klausner et al. (2015) hanno utilizzato un modello Lagrangiano a particelle per studiare con simulazioni numeriche la possibilità di un trasporto a lunga distanza del virus FMD, trattato sia come tracciante passivo sia come aerosol monodisperso e polidisperso. La loro analisi indica che in condizioni non-stazionarie, trattare il virus FMD come tracciante passivo o aerosol monodisperso produce una sottostima della distanza di rischio (hazard distance), e quindi si suggerisce di considerare il virus-aerosol come polidisperso nelle simulazioni modellistiche. Un lavoro di riferimento per la comprensione del trasporto in atmosfera di bioaerosol patogeni per esseri umani ed animali è rappresentato dalla rassegna di studi proposta in Van Leuken et al. (2016), nel contesto delle valutazioni di rischio. In esso si descrivono i più importanti processi fisici che determinano la dispersione dei patogeni in atmosfera, si discutono vari studi che hanno applicato modelli di dispersione su bioaerosol patogeni, si descrivono e discutono le parametrizzazioni dei ratei di emissione e di inattivazione, si discutono i metodi per tradurre le concentrazioni, output dei modelli di dispersione, in probabilità di infezione. Sono state considerate vie di trasmissione da uomo a uomo, da animale (da allevamento) a uomo, tra allevamenti, da industria a uomo. Tra le conclusioni principali, è di interesse riportare che, mentre trasmissioni a corto raggio (qualche km) sono state verificate in molti studi, non ci sono evidenze solide di trasmissione a lungo raggio (da decine a centinaia di km). È risultato che per produrre previsioni accurate dei livelli di esposizione, per simulare correttamente la dispersione è necessario utilizzare dati di input ad alta risoluzione (velocità del vento, stabilità atmosferica, topografia), e per riprodurre in modo appropriato la inattivazione sono cruciali i dati di temperatura, umidità e radiazione ultravioletta.

Per quanto riguarda l'ambiente confinato, indoor, Wei and Li (2016) descrivono e discutono i processi specifici che determinano rilascio, trasporto e diffusione, quindi trasmissione aerea delle goccioline contenenti il patogeno e la conseguente esposizione al virus, tenendo conto dei moti e della turbolenza dell'aria, che si generano tipicamente in una stanza e per il movimento delle persone. Lo studio è utile in particolare per il controllo della trasmissione negli ospedali. Come risultato della loro analisi, basata quindi anche sullo studio dei flussi di aria, concludono che (1) le vie di trasmissione a corto raggio sono importanti in caso di contatto ravvicinato e possono essere tenute sotto controllo con l'utilizzo di maschere facciali e ventilazione personalizzata; (2) considerando il rilascio delle goccioline per espirazione e sulla base della valutazione degli effetti della stratificazione termica indoor, i dispositivi di ventilazione controllata potrebbero non essere utilizzabili in stanze di ospedale in cui si trattano infezioni respiratorie.

BIBLIOGRAFIA:

- Altamimi A, Ahmed AE. Climate factors and incidence of Middle East respiratory syndrome coronavirus. *J Infect Public Health* (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.11.011>
- Araujo and Naimi <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20034728>
- Barreca, A. I. & Shimshack, J. P. Absolute humidity, temperature, and influenza mortality: 30 years of county-level evidence from the United States. *Am. J. Epidemiol.* 176 Suppl 7, S114–22 (2012).
- Bukhari, Qasim and Jameel, Yusuf, Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer? (March 17, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3556998> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3556998>
- Carleton and Meng 2020 <https://doi.org/10.1101/2020.03.26.20044420>
- Chan, K. H. et al. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Advances in Virology* vol. 2011 1–7 (2011)
- du Prel JB, Puppe W, Grondahl B, Knuf M, Weigl JA, et al. Are meteorological parameters associated with acute respiratory tract infections? *Clin Infect Dis.* 2009;49:861–868.
- Ficetola e Rubolini 2020 <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>
- Gonzalez-Martin C., Coronado-Alvarez N.M, Teigell-Perez N., Diaz-Solano R., Exposito F.J., Diaz J.P., Griffin D.W., Valladares B. (2018) Analysis of the Impact of African Dust Storms on the Presence of Enteric Viruses in the Atmosphere in Tenerife, Spain. *Aerosol and Air Quality Research*, 18: 1863–1873
- Klausner Z., Klement E., Fattal E. (2015) Modeling long distance dispersal of airborne foot-and-mouth disease virus as a polydisperse aerosol e Application to the emergence of a new strain from Egypt to Israel. *Atmospheric Environment* 122, 332-342
- Kritana, P., Taehyeung K., Hyeontae K., Ki Youn K., Wongeun S. (2014) Atmospheric pathway: A possibility of continuous outbreaks of foot-and-mouth disease in South Korea in 2010–2011. *Computers and Electronics in Agriculture* 108, .95–104
- Lowen, A. C., Mubareka, S., Steel, J. & Palese, P. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog.* 3, 1470–1476 (2007).
- Luo et al 2020 <https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467>
- Marr et al 2019 <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2018.0298>
- Mathilde et al., 2020, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14626-0> NATURE
- Van Leuken , Swarta A.N, Havelaar A.H., Van Puld A., Van der Hoek W., , Heederik D. (2016) Atmospheric dispersion modelling of bioaerosols that are pathogenic to humans and livestock – A review to inform risk assessment studies. *Microbial Risk Analysis* 1, 19-39
- Wei J.J, Li Y.H. (2016) Airborne spread of infectious agents in the indoor environment, *American Journal of Infection Control* 44 , S102-S108

COMMUNICATIONS

- Blocken B., Malizia F., van Druenen T., Marchal T. (2020) Towards aerodynamically equivalent COVID-19 1.5 m social distancing for walking and running. Preprint, http://www.urbanphysics.net/Social%20Distancing%20v20_White_Paper.pdf?int_promo=newsletter
- Bourouiba L. (2020) Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. *Clinical Review& Education, JAMA insight.* <https://jamanetwork.com/>
- Copernicus Climate Changes Service (C3S) Climate Data Store (CDS) at ECWMF: Monthly climate explorer for COVID-19

<https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-c3s-monthly-climate-covid-19-explorer?fbclid=IwAR3MkDXdyAeAMe3fYUkSOkE1OcHYllf8La2xKwEcBCintwScOgWJOuYZGyo>

Sajadiet al., Temperature, Humidity and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19 (March 5, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3550308> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3550308>

Shaman et al 2010 doi:10.1371/journal.pbio.1000316

Trombetta, H., Faggion, H. Z., Leotte, J., Nogueira, M. B., Vidal, L. R., and Raboni, S. M. (2016). Human coronavirus and severe acute respiratory infection in Southern Brazil. *Pathog. Glob. Health* 110, 113–118. doi: 10.1080/20477724.2016.1181294

Wang, Jingyuan and Tang, Ke and Feng, Kai and Lv, Weifeng, High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19 (March 9, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3551767> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3551767>

WG3 Covid-19 and meteo-climatic variables (doc version 20/04/20)

Abstract

The possible correlation between the development of viruses and meteorological fields, in particular temperature and humidity, has been analysed in numerous papers. These research studies have shown that the relationship with meteorological factors depends on the type of virus, even within the same family; therefore, it is difficult to draw any general conclusion.

For SARS-CoV-2, the coronavirus responsible for COVID-19, the studies carried out so far have shown that the areas where the transmission has been more intense are distributed along a band in the mid-latitudes (between about 30 °N and 50 °N), in the presence of average temperatures between 5 and 11 °C, and low humidity values (specific humidity of 4-7 g/kg). Hence, this virus shows a preference for cool and dry conditions, in a similar way to the previous coronavirus responsible for SARS. In case of low humidity, the droplets carrying the virus evaporate, reducing the size of the particles in which the virus is present. The particles of reduced size remain suspended in the environment (be it indoors or outdoors) for a longer time.

The Copernicus Climate Change Service (C3S), one of the thematic services provided by the European Union's COPERNICUS program, has developed an application to map mortality from COVID-19 in relation to temperature and humidity data. The application allows to highlight, through a graphical interface, whether these parameters are related to the diffusion of SARS-CoV-2, as recently suggested by epidemiological studies. If the results of recent research studies are correct, summer conditions, characterized by warmer temperatures and higher humidity, could create environmental conditions less favourable for the spread of the virus in the regions most affected so far, such as those of southern Europe.

INTRODUCTION

Several scientific studies are available in the literature with reference to the possible correlation between virus development and some meteo-climatic variables, in particular temperature and relative or absolute humidity.

After a brief review of these studies, we report the most significant results in the scientific literature.

1. VIRUS

Marr et al. (2019) show that, in general, viruses survive better at low temperatures and low relative humidity conditions (<40%). However, this is only the general trend, as the same authors have shown that some viruses survive well even at high RH values (> 95%).

The measurement of indoor humidity and temperature values is crucial because transmission occurs mainly indoor. Several studies demonstrate the important role of absolute humidity (Shaman et al 2010).

Prel et al. (2009) showed that the spread of influenza A, RSV, and adenovirus in Germany is anti-correlated with temperature, whereas that of rhinovirus is correlated with relative humidity: therefore, considering the seasonal and climatic conditions, the hospitalizations associated with RSV were predictable.

Lowen et al. (2007) showed that in temperate regions influenza epidemics repeat with marked seasonality: in the northern hemisphere the flu season extends from November through March, while in the southern hemisphere epidemics last from May through September. In an experiment, by housing infected guinea pigs in an air-conditioned chamber, transmission experiments were carried out under controlled temperature and humidity conditions. The results of these experiments showed that the spread of the influenza virus depends on both the environment relative humidity and temperature.

In particular, low relative humidity values (20%-35%) were found to favor transmission, whereas it is completely blocked for high values (80%). Furthermore, when the guinea-pigs are kept at 5 °C, transmission occurs more frequently than when they are kept at 20 °C. At 30 °C no transmission was detected.

The observations provided indications that the low relative humidity and cold temperature conditions, characteristic of winter, favor the spread of the influenza virus.

Barreca et al. (2012) used a non-linear regression model to study simultaneously the relationships between absolute humidity, temperature, and influenza events. The results indicate that absolute humidity is a particularly critical factor for influenza mortality; for absolute humidity below about 6 g of water vapor per kg of air, there is an increase in influenza mortality. Model predictions support the idea that about half of the seasonal differences in influenza mortality in the United States can be explained by seasonal differences in absolute humidity. Temperature also seems to affect - albeit with less obvious results - influenza mortality.

Mathilde et al. (2020) write that expelled viruses must remain stable in aerosol/breathing drops in order to start a new infection. The physical and chemical properties of both air and particles (including temperature, ultraviolet radiation, humidity, and movement of air masses) affect the stability and infectivity of the virus. In addition, the evaporation rate of aerosols, which is higher than that of droplets, may have an impact on virus survival.

An article on the BBC website (<https://www.bbc.com/future/article/20200327-can-you-kill-coronavirus-with-uv-light>) explains that solar radiation in the UVC range is particularly effective in destroying genetic material, both in humans and in viral particles. The ability of UVC to kill microorganisms, since its discovery in 1878, has become a basic method of sterilization. Although no research activities specifically examined the UVC effect on SARS-CoV-2, other studies have shown that it can be used against other coronaviruses, such as the one responsible for Sars. The radiation deforms the structure of their genetic material and prevents viral particles from replicating. In China, entire buses are illuminated by artificial UVC light, and UVC emitting lamps are used to clean floors in hospitals.

To use UVC safely, specific equipment and training is required. The World Health Organization (WHO) has issued a strict warning not to use UV light to sterilize hands or any other part of the skin. UVA or UVB light can also be used as a disinfectant, leaving objects out in the sun, but it may take a long time. Research on Sars found that exposure of the virus to UVA rays for 15 minutes had no impact on its contagiousness. However, the study did not examine longer exposures, or the role of UVB rays, which is known to be more harmful to genetic material. Instead, other viruses, such as influenza, showed interesting results. Obviously, once the virus is inside a body, any amount of UV will have no impact.

2. CORONAVIRUS

Coronaviruses are a large family of viruses known for their ability to generate diseases ranging from the common cold to more serious diseases such as Middle Eastern Respiratory Syndrome (MERS) and Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS).

A study conducted in southern Brazil showed that coronavirus-induced respiratory tract infections are favored by low temperatures (Trombetta et al., 2016).

On the other hand, a study conducted in Saudi Arabia showed that the MERS-CoV coronavirus has an increasing incidence between April and August. High temperature, high ultraviolet index, low wind speed and relative humidity contribute to the increase in MERS-CoV cases (Altamimi and Ahmed, 2019).

Summarizing, the dependence of virus activity on meteorological factors does not only change from virus to virus, but also within the same virus family (as in the case of coronavirus).

Chan et al. (2011) indicate that the main transmission route of SARS-CoV infection is through respiratory droplets. Their study focused on the stability of the virus for different values of temperature and relative humidity on smooth surfaces. The virus dried on smooth surfaces maintained its viability for more than 5 days at temperatures of 22-25°C and relative humidity of 40-50%. However, the viability of the virus rapidly degraded at higher temperatures and higher relative humidity values (e.g. 38°C, and relative humidity >95%). Their studies conclude that the best conditions for the stability of the SARS coronavirus are low ambient temperature and humidity, which may facilitate its transmission in communities in subtropical areas (such as Hong Kong) during spring or in air-conditioned environments. This may explain why some Asian countries in tropical areas (such as Malaysia, Indonesia or Thailand) with high temperature and high relative humidity environments did not register major SARS outbreaks in their communities.

3. COVID-19

Sajadi et al. (2020) observed that areas with significant transmission of SARS-CoV-2, the virus responsible for the COVID-19 disease, are distributed approximately along the corridor 30-50°N under similar weather conditions, i.e. average temperatures of 5-11°C, and low specific humidity values (4-7 g/kg).

Wang et al. (2020) show that high temperature and relative humidity values have contributed to significantly reduce the transmission of SARS-CoV-2 in China; therefore, the arrival of summer and of the rainy season in the northern hemisphere could contribute to effectively reduce transmission of COVID-19.

Araujo and Naimi (2020) highlighted that SARS-CoV-2 shows preference for cool and dry conditions. The predecessor SARS-CoV was associated to similar climatic conditions.

Bukhari and Jameel (2020), analyzing several thousand of cases in regions with average temperature >18°C until 22 March 2020, observed that the role of temperature in slowing the spread of SARS-CoV-2 is only recorded at very high temperatures. The absolute humidity range for most cases is between 3 and 9 g/m³. Current data, although limited, suggest that it is extremely unlikely that the spread of SARS-CoV-2 will slow down in summer in most of the United States and Europe due to environmental factors.

Carleton and Meng (2020) present a global study updated to 15 March 2020 showing how a temperature rise reduces the spread of the virus. Following this, they provide a projection of the diffusion of COVID-19 in the coming months.

Ficetola and Rubolini (2020) come to similar conclusions as Carleton and Meng (2020), stressing the role of temperature and humidity (diffusion peaks at about 5°C and 4 g/kg specific humidity), but highlighting the non-linear dependence between diffusion and environmental parameters.

Luo et al (2020) analyze the relationship between humidity and SARS-CoV-2 diffusion in China and find that changes in weather conditions (e.g. increase in temperature and humidity in the northern hemisphere in the coming months) will not necessarily produce a reduction in cases without extensive containment measures.

Most articles show that SARS-CoV-2 prefer cool and dry conditions. The predecessor SARS-CoV was associated with similar climatic conditions.

The Copernicus Climate Change Service (C3S*) developed an application to map COVID-19 mortality in relation to temperature and humidity data. "The application allows health authorities and epidemiology centers to explore the claim that temperature and humidity could influence the spread of the coronavirus," explains C3S Director Carlo Buontempo.

"The application indicates that if temperature and humidity influence the spread of the coronavirus as recently suggested by epidemiological studies, the arrival of a warmer and wetter climate could potentially create less favorable environmental conditions for the spread of the virus in the most affected regions of southern Europe."

4. PROCESSES USEFUL TO UNDERSTAND THE ROLE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY RELATED TO THE PERMANENCE AND TRANSMISSION IN AIR OF SARS-CoV-2

Marr et al. (2019) clearly identify the processes that relate the particle size of virus+breathing fluid (droplets) to temperature, humidity and deposition process. For low relative humidity values (e.g. 20%) the water that envelops the virus (the respiratory fluid) can evaporate and the particles decrease in size (hence, the relative humidity controls the final particle size). Smaller particles can therefore remain suspended in the environment (indoor or outdoor) for a longer time.

5. FUTURE WORK

A regional analysis is underway (C. Pasquero). The beta growth factor (assuming exponential growth, which is an excellent approximation at initial times) has been calculated in the first two weeks from the beginning of the virus spread (defined as the moment when the number of positives =100) in each Italian region. The variation of the beta factor in time (regions that started later have lower beta, perhaps as a consequence of the limitation to social interactions) and in space was analyzed. The values of the beta factor were correlated with the values of average temperature and humidity in each region (from ERA5 data) in the two weeks preceding the trigger.

This preliminary analysis shows a correlation with temperature, but it cannot be excluded that this could simply be due to the fact that the (warmer) southern regions have been affected by COVID-19 at a later stage (when restrictions were already in place, either by decree or by behavior change due to population awareness). It is therefore necessary to integrate the analysis with data on mobility and population density (contacts between individuals in the Po Valley are obviously greater than in the rest of Italy).

6. EMISSION AND TRANSPORT PROCESSES IN THE ATMOSPHERE

In addition to investigating the effects of temperature and humidity on the airborne-life of the droplets containing the virus, it is of interest to evaluate whether and how the droplets can be transported in the atmosphere, by wind and turbulence. The investigation of the dispersion of pathogens, like viruses, in the air on short and long range is determined by several elements. First, the identification and characterization of the source term, which is the amount of virus-aerosol emitted into the air; then, the quantification of a minimum-threshold doses of virus that has to be inhaled to induce infection in an organism; finally, the description of its interaction with the ambient air, of the transport and dispersion processes the virus-aerosol undergoes in the atmosphere, accounting for the removal processes like deposition and biological decay.

It is as well necessary to distinguish emissions that occur in a confined environment (indoor) or in the outer atmosphere (outdoor), since the dispersion processes take place in different conditions, thus they act in different manners.

Once a tracer is emitted in the atmosphere, even with a sort of jet release because of a high exit speed, the entrainment process between the environmental air and the tracer-aerosol starts acting immediately, thus diffusing the tracer mass. It is reasonable to suppose that the diffusion of the aerosol in the ambient air, and its consequent dilution, contributes to dilute also the viral load, reducing the infective efficacy. The longer the distance, the more efficient diffusion and dilution are, the lower the probability is of inhaling a quantity of particles with a viral load sufficient to infect an individual. Even when the aerosol travels to distance longer than one metre, whether and how much virus the particles are carrying has still to be clarified. It has been established that most of the viral load is contained in the large droplets, which tend to settle relatively fast. The emission processes, such as exhalation, cough, sneeze (source term) and the distance at which they keep having an effect, are still under study. Bourouiba (2020) suggests to overcome the dichotomy of large versus small droplets, which has been the reference up to now, and proposes a new approach that accounts

for the interaction with the ambient air. In particular, she points out that the emission is made of “ (...) a multiphase turbulent gas (a puff) cloud that entrains ambient air and traps and carries within it clusters of droplets with a continuum of droplet sizes”. Because of the initial momentum and of the trapping effect of the turbulent puff, Bourouiba maintains that the pathogen particles might be transported at larger distances, yet always depending on the thermal and dynamical variables in the ambient air (citing her: “*The degree and rate of evaporation depend strongly on ambient temperature and humidity conditions, but also on the inner dynamics of the turbulent puff cloud coupled with the composition of the liquid exhaled by the patient*”). Blocken et al. (2020) have performed several numerical simulations with a Computational Fluid Dynamics (CFD) model, aimed at determining the safety-social distance for individuals who are moving (fast walking, running). Even though the effect of the wind is not accounted for, which is indeed an approximation in real atmosphere, their analysis shows that, assuming that 1.5 m is the safety distance to keep for two standing-still persons, such value should be increased to 5 m and 10 m for individuals who are moving, fast walking or running, in the slipstream of another person.

The study of the atmospheric transport and dispersion of pathogens like the viruses, even on long range, is a research field relatively new and not yet consolidated. As example, Gonzalez-Martin et al. (2018) used measured data and numerical modelling to investigate the possible contribution of the desert dust coming from Africa as carrier of pathogens, phenomenon that did not find a confirmation from their analysis. Several studies regarded the short- and long-range transport of the Foot-and-Mouth (FMD) virus, where however relatively extended sources are treated, like livestock in extensive production systems, which can have long-range effect. In Kritana et al. (2014) atmospheric dispersion numerical modelling, based on a Lagrangian-puff model, was applied as a tool in a national FMD control program in Korea. Klausner et al. (2015) used a Lagrangian particle dispersion model to study, through numerical simulations, the likelihood of a long-range transport of the FMD virus, treated both as a passive tracer, and as a monodisperse and polydisperse aerosol. Their analysis suggests that in non-stationary atmospheric conditions, modelling the FMD dispersion as passive tracer or monodisperse aerosol leads to an underestimation of the hazard distance, thus they recommend treating the virus-aerosol as polydisperse in numerical simulations. A reference work for the understanding of the atmospheric transport of bioaerosol being pathogen for human beings and animals is the review of scientific studies proposed in the context of risk assessment by Van Leuken et al. (2016). They describe the most important physical processes that determine the pathogen dispersion in the atmosphere, then they present and discuss different studies where dispersion models for the pathogen bioaerosol were applied, describe and discuss the emission and inactivation rate parameterisations, and the methods for conversion of concentrations, output by the dispersion models, to infection probabilities. In their review, the authors consider transmission routes human-human, livestock-livestock, livestock-human, and industrial-human. Among main conclusions, it is interesting to report that while short-range (several km) transmissions have been found in many studies, there are not solid evidences of long-range transmission (tens to hundreds km). They infer that “(...) in order to predict exposure levels as accurately as possible, high-resolution data on wind speed, wind direction, atmospheric stability, and topography are essential for dispersion modelling, and humidity, temperature, and ultraviolet radiation are crucial for modelling inactivation.” Concerning the confined environment, indoor, Wei and Li (2016) describe and discuss in details the specific processes that determine release, transport and diffusion, then aerial transmission route of the droplets containing the pathogen, and the consequent exposure to the virus. These, accounting for the airflow and turbulence that typically originate in a room where human activities such as walking and door opening occur. This contribution is particularly aimed at considering the transmission and infection control in hospitals. As results of their analysis, based also on assessing the airflows, the authors conclude that “(...) the short-range airborne route may be important in close contact, and its control may be achieved by face masks for the source patients and use of

personalized ventilation. Our discussion of the effect of thermal stratification and expiratory delivery of droplets leads to the suggestion that displacement ventilation may not be applicable to hospital rooms where respiratory infection is a concern.”

BIBLIOGRAFIA:

- Altamimi A, Ahmed AE. Climate factors and incidence of Middle East respiratory syndrome coronavirus. J Infect Public Health (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.11.011>
- Araujo and Naimi <https://doi.org/10.1101/2020.03.12.20034728>
- Barreca, A. I. & Shimshack, J. P. Absolute humidity, temperature, and influenza mortality: 30 years of county-level evidence from the United States. Am. J. Epidemiol. 176 Suppl 7, S114–22 (2012).
- Bukhari, Qasim and Jameel, Yusuf, Will Coronavirus Pandemic Diminish by Summer? (March 17, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3556998> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3556998>
- Carleton and Meng 2020 <https://doi.org/10.1101/2020.03.26.20044420>
- Chan, K. H. et al. The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. Advances in Virology vol. 2011 1–7 (2011)
- du Prel JB, Puppe W, Grondahl B, Knuf M, Weigl JA, et al. Are meteorological parameters associated with acute respiratory tract infections? Clin Infect Dis. 2009;49:861–868.
- Ficetola e Rubolini 2020 <https://doi.org/10.1101/2020.03.23.20040501>
- Gonzalez-Martin C., Coronado-Alvarez N.M, Teigell-Perez N., Diaz-Solano R., Exposito F.J., Diaz J.P., Griffin D.W., Valladares B. (2018) Analysis of the Impact of African Dust Storms on the Presence of Enteric Viruses in the Atmosphere in Tenerife, Spain. Aerosol and Air Quality Research, 18: 1863–1873
- Klausner Z., Klement E., Fattal E. (2015) Modeling long distance dispersal of airborne foot-and-mouth disease virus as a polydisperse aerosol e Application to the emergence of a new strain from Egypt to Israel. Atmospheric Environment 122, 332-342
- Kritana, P., Taehyeung K., Hyeontae K., Ki Youn K., Wongeun S. (2014) Atmospheric pathway: A possibility of continuous outbreaks of foot-and-mouth disease in South Korea in 2010–2011. Computers and Electronics in Agriculture 108, .95–104
- Lowen, A. C., Mubareka, S., Steel, J. & Palese, P. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. PLoS Pathog. 3, 1470–1476 (2007).
- Luo et al 2020 <https://doi.org/10.1101/2020.02.12.20022467>
- Marr et al 2019 <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2018.0298>
- Mathilde et al., 2020, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14626-0> NATURE
- Van Leuken , Swarta A.N, Havelaar A.H., Van Puld A., Van der Hoek W., , Heederik D. (2016) Atmospheric dispersion modelling of bioaerosols that are pathogenic to humans and livestock – A review to inform risk assessment studies. Microbial Risk Analysis 1, 19-39
- Wei J.J, Li Y.H. (2016) Airborne spread of infectious agents in the indoor environment, American Journal of Infection Control 44 , S102-S108

COMMUNICATIONS

- Blocken B., Malizia F., van Druenen T., Marchal T. (2020) Towards aerodynamically equivalent COVID-19 1.5 m social distancing for walking and running. Preprint, http://www.urbanphysics.net/Social%20Distancing%20v20_White_Paper.pdf?int_promo=newsletter
- Bourouiba L. (2020) Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. Clinical Review& Education, JAMA insight. <https://jamanetwork.com/>

Copernicus Climate Changes Service (C3S) Climate Data Store (CDS) at ECWMF: Monthly climate explorer for COVID-19

<https://cds.climate.copernicus.eu/apps/c3s/app-c3s-monthly-climate-covid-19-explorer?fbclid=IwAR3MkDXdyAeAMe3fYUkSOkE1OcHYllf8La2xKwEcBCintwScOgWJOuYZGyo>

Sajadiet al., Temperature, Humidity and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19 (March 5, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3550308> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3550308>

Shaman et al 2010 doi:10.1371/journal.pbio.1000316

Trombetta, H., Faggion, H. Z., Leotte, J., Nogueira, M. B., Vidal, L. R., and Raboni, S. M. (2016). Human coronavirus and severe acute respiratory infection in Southern Brazil. *Pathog. Glob. Health* 110, 113–118. doi: 10.1080/20477724.2016.1181294

Wang, Jingyuan and Tang, Ke and Feng, Kai and Lv, Weifeng, High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19 (March 9, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3551767> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3551767>