



# Giovanni Seminara

*Emerito dell'Università di Genova*

## Una questione di goccioline (Fluodinamica e contagio da CoVID19)

*Conferenza a classi riunite*

*Chiusura dell'Anno Accademico 2019-2020*

*Roma, Palazzo Corsini, 25 Settembre 2020*

## Diapositiva 1

---

**gs1**

giovanni seminara; 15/09/2020

(OMS, 29 Marzo 2020)

*According to current evidence, COVID-19 virus is primarily transmitted between people through respiratory droplets and contact routes.....*

*Airborne transmission is different from droplet transmission as it refers to the presence of microbes within **droplet nuclei**, ..... can remain in the air for long periods of time and be transmitted to others over distances greater than 1 m*



***It is Time to Address  
Airborne Transmission of  
COVID-19***

*Lidia Morawska, Donald K  
Milton*

***Clin Inf Disease  
(6 Luglio 2020)***



*To date, some scientific  
publications provide **initial  
evidence** on whether the  
COVID-19 virus can be  
detected in the air and thus,  
some news outlets have  
suggested that there has been  
airborne transmission.*

***These initial findings need to  
be interpreted carefully  
OMS (9 Luglio 2020)***



**Quali ragioni dell'appello degli scienziati ?**

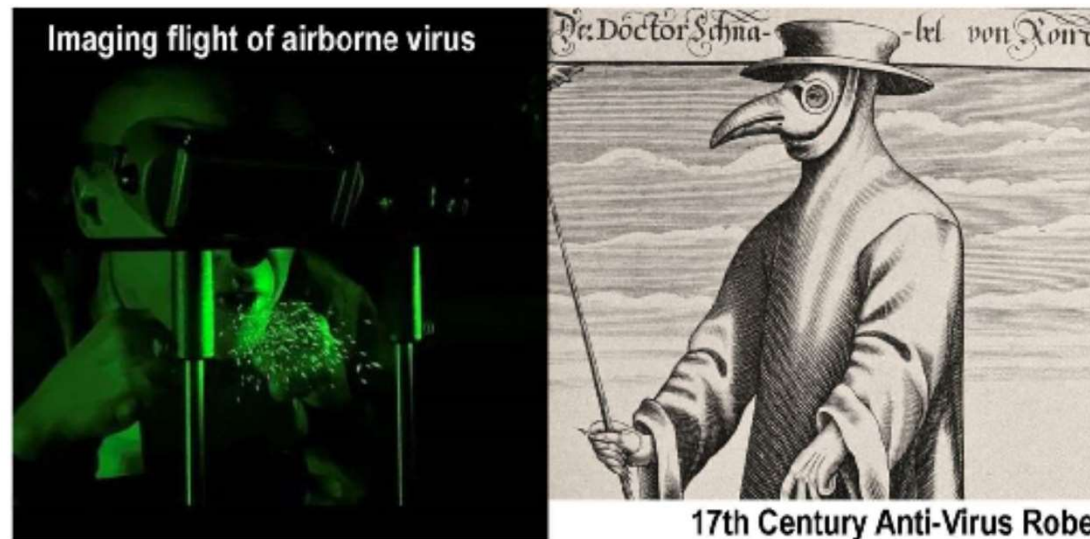
**Quale fondamento scientifico  
hanno le raccomandazioni dell'OMS ?**

Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali  
<https://doi.org/10.1007/s12210-020-00938-2>

REVIEW

## Biological fluid dynamics of airborne COVID-19 infection

Giovanni Seminara · Bruno Carli · Guido Forni · Sandro Fuzzi · Andrea Mazzino · Andrea Rinaldo



## Presupposti delle raccomandazioni dell'OMS

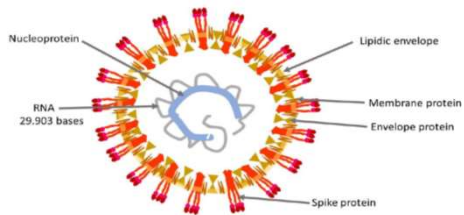
1 - classificazione dicotomica delle gocce in 'grandi' e 'piccole' con soglia intorno a diametri di 5-10  $\mu\text{m}$

|               |   |                      |
|---------------|---|----------------------|
| Gocce grandi  | → | contagio 'vicino'    |
| Gocce piccole | → | contagio 'lontano' ? |

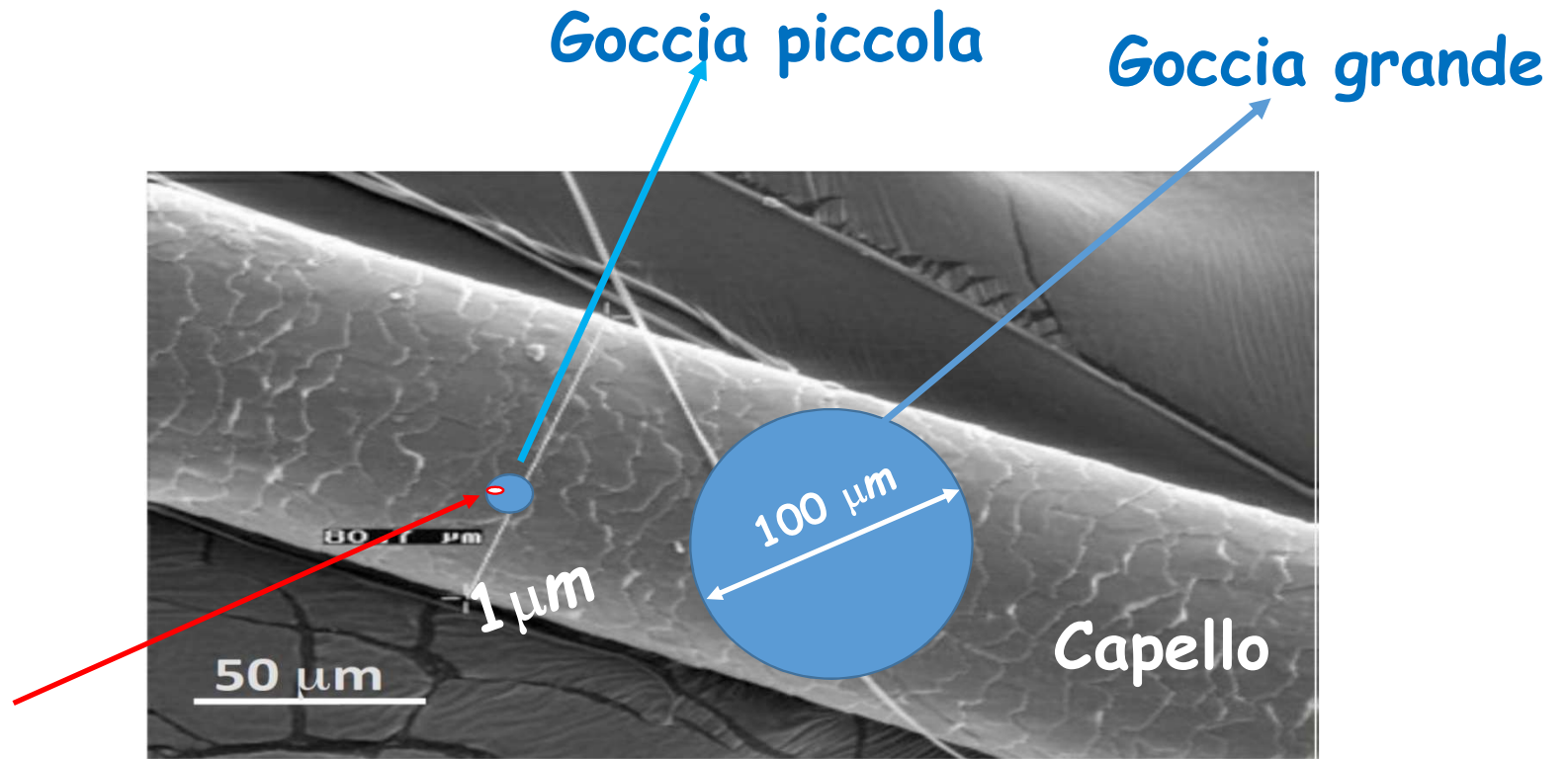
2 - Distanza di 1 m dall'infetto (6 piedi per la CDC): soglia che consentirebbe di prevenire il contagio vicino.

Di cosa  
stiamo  
parlando

## Virus SARS-CoV-2



0,1-0,2  $\mu\text{m}$





## **Parte prima: i processi in gioco**

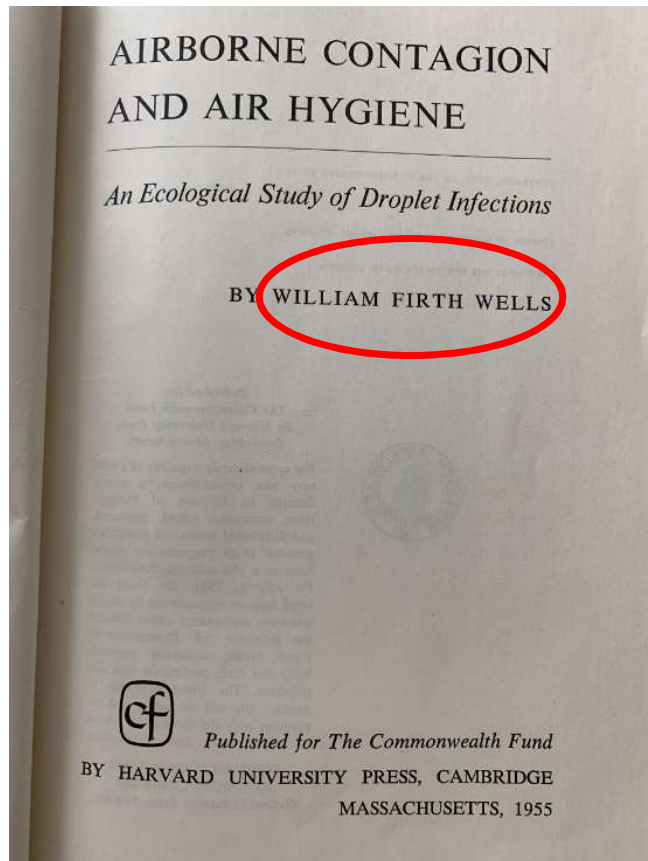
**L'origine del dilemma contagio vicino-contagio lontano.**

Nel Medioevo, nel Rinascimento opinione diffusa:  
**malattie infettive trasmesse per via aerea attraverso 'miasmi'**

*"Che fossero generati da materia in putrefazione o emanati da individui infetti (persone, animali, oggetti), gli atomi velenosi infettavano l'aria salubre e la rendevano «miasmatica», vale a dire velenosa. Era proprio l'aria «corrotta» a costituire, secondo i dottori del Rinascimento, la condizione di base indispensabile perché scoppi un'epidemia di peste"*

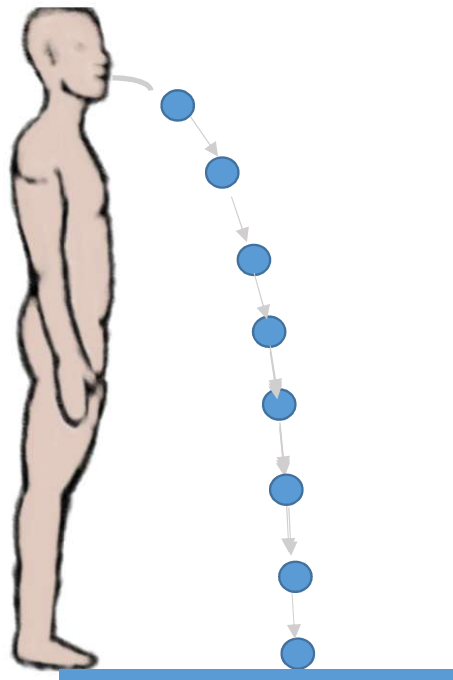
(Carlo Maria Cipolla, *Il pestifero e contagioso morbo*, ed. Il Mulino, 2012).



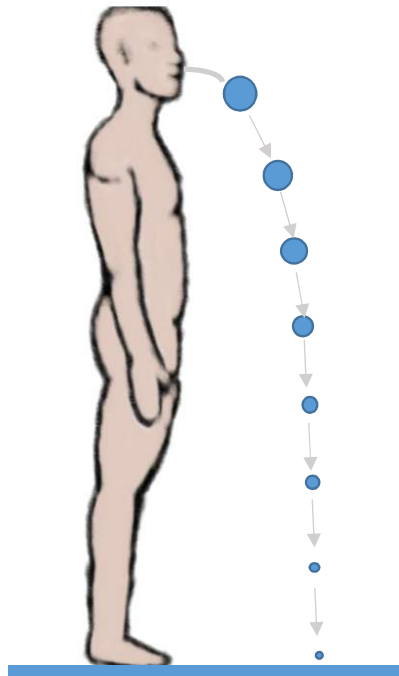


Fra il 1930 ed il 1937,  
**William Firth Wells,**  
**un ingegnere sanitario**  
all'università di Harvard  
esegue esperimenti pionieristici

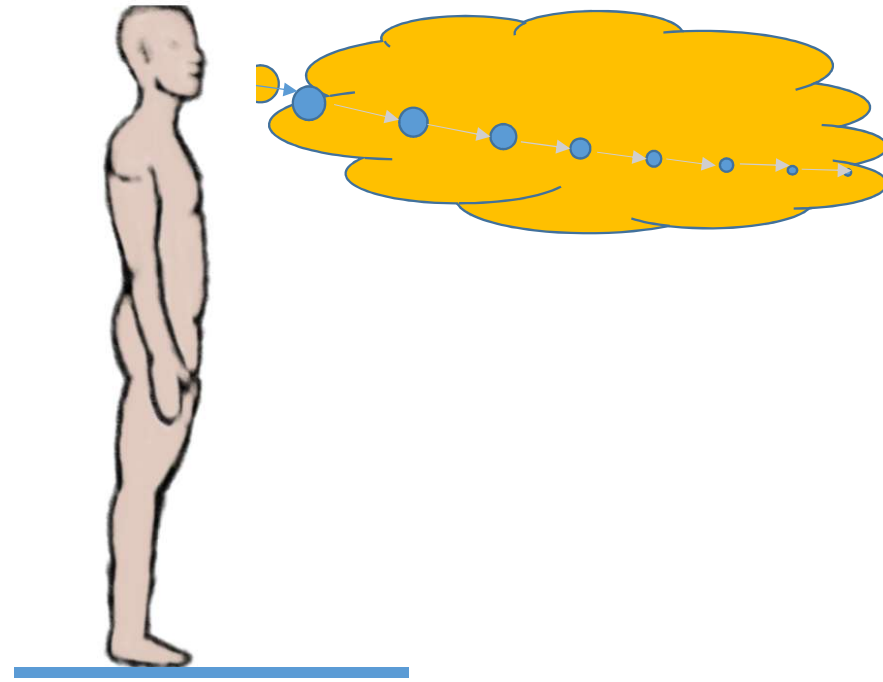
e riconosce **i processi** che le gocce  
presenti nelle emissioni respiratorie  
subiscono una volta espulse dal  
soggetto infetto.



**Sedimentazione**

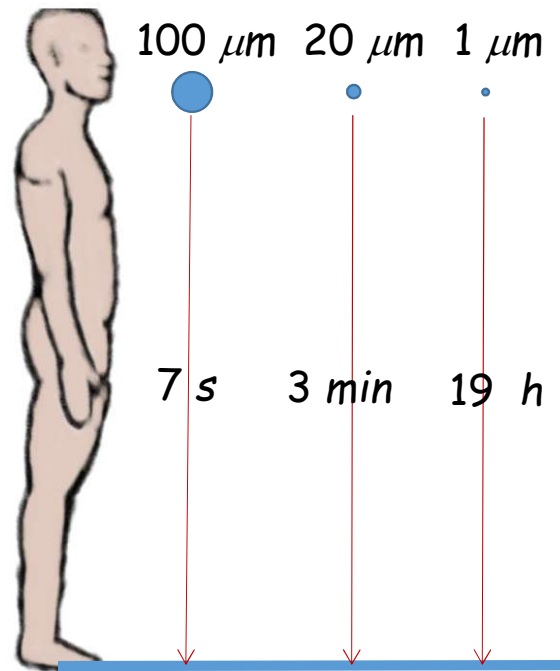


**Sedimentazione  
+  
Evaporazione**



**Sedimentazione  
+  
Evaporazione  
+  
Trasporto**

## Quanto grandi? Quanto piccole? : Stime



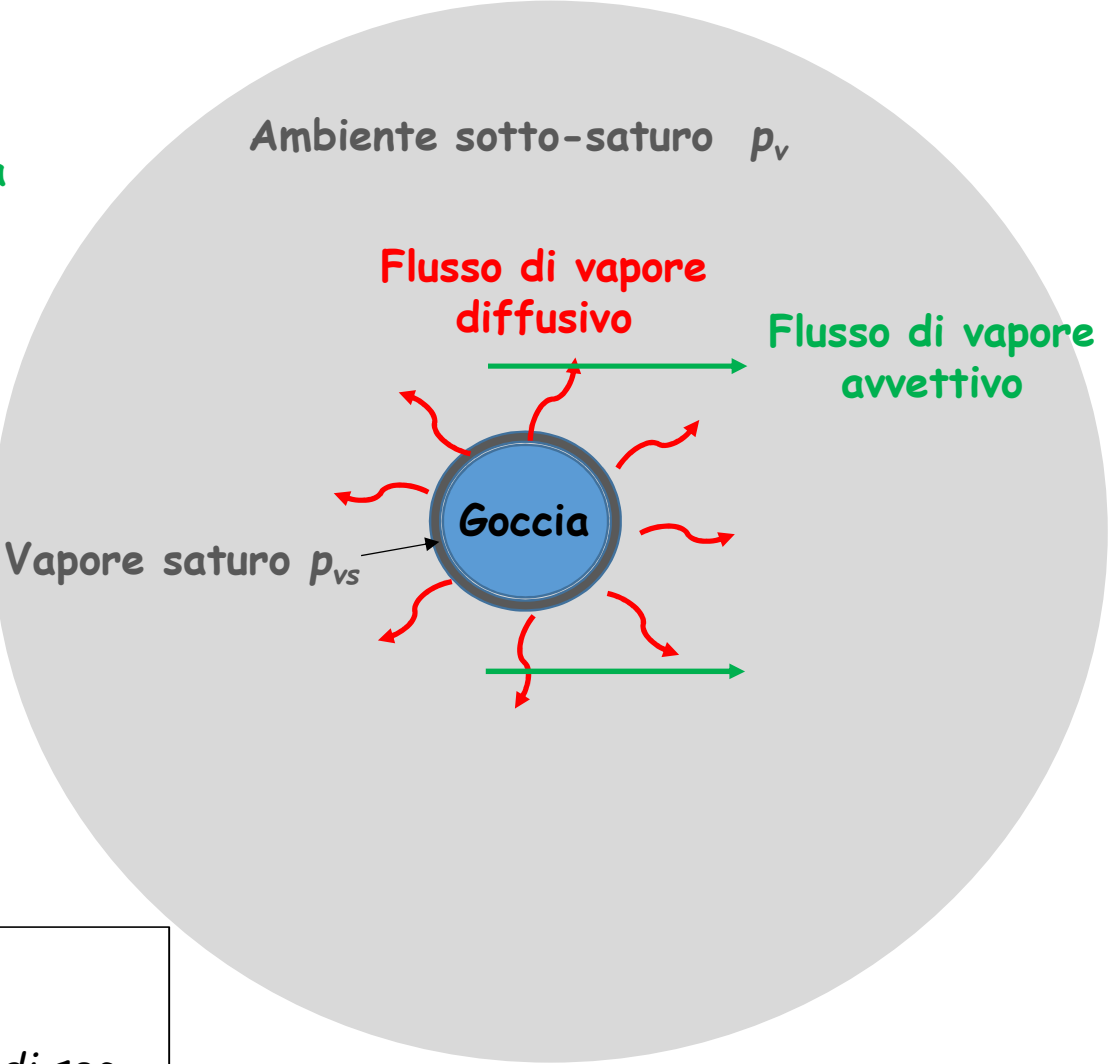
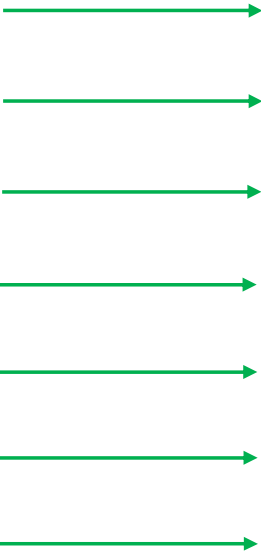
Tempo di sedimentazione  $\approx 1/d^2$

# Tempo evaporazione

$$\approx d^2$$
$$\approx 1 / (p_{vs} - p_v)$$

Evaporazione rapida  
per piccole gocce  
in ambienti secchi

Flusso d'aria



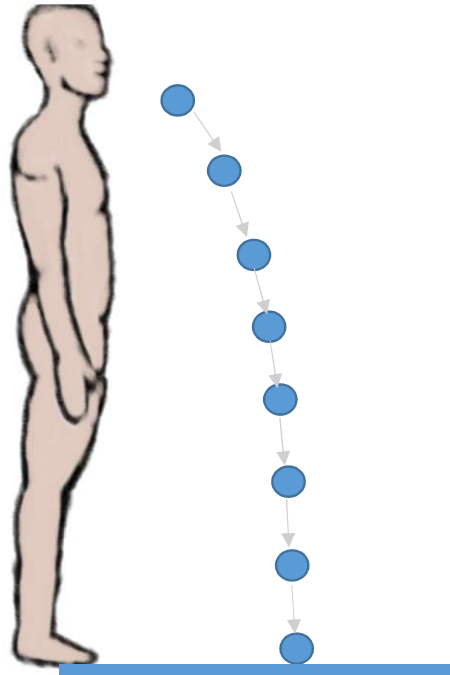
|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| umidità relativa $\approx 50\%$ |  |
| $d = 20 \mu m$                  | $t_{evap} \sim \text{frazioni di sec}$ |
| $d = 100 \mu m$                 | $t_{evap} \sim \text{sec}$             |

**In conclusione:**

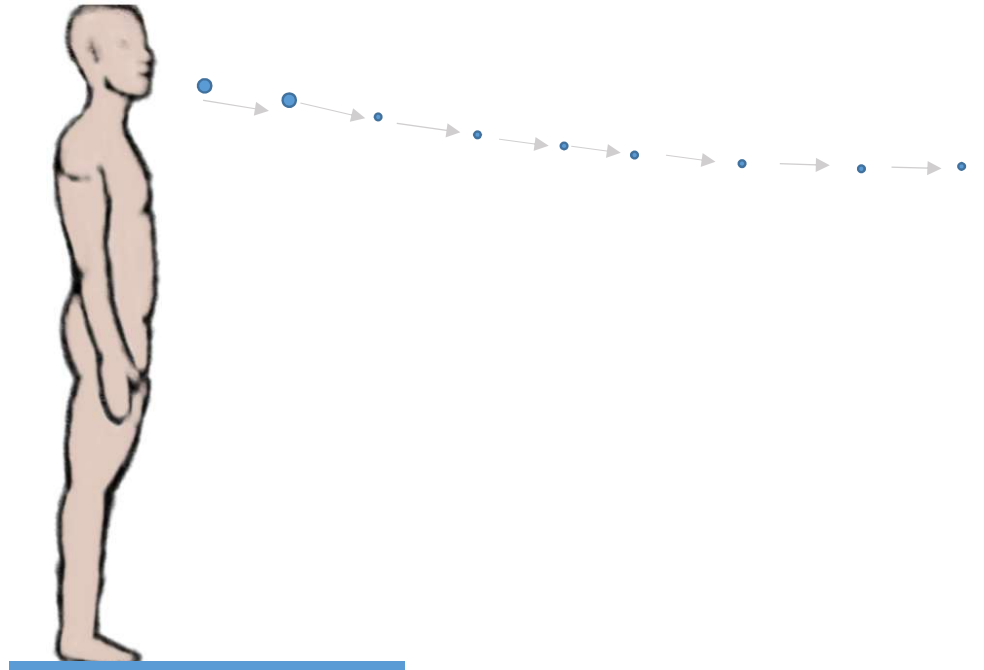
***gocce grandi sedimentano rapidamente  
ed evaporano lentamente***

***gocce piccole sedimentano lentamente  
ed evaporano rapidamente.***

Wells (1934) identifica quindi due condizioni limite



Gocce grandi  
contagio vicino all'infetto



Gocce 'piccole'  
contagio lontano dall'infetto



**Ma le gocce evaporano totalmente?**

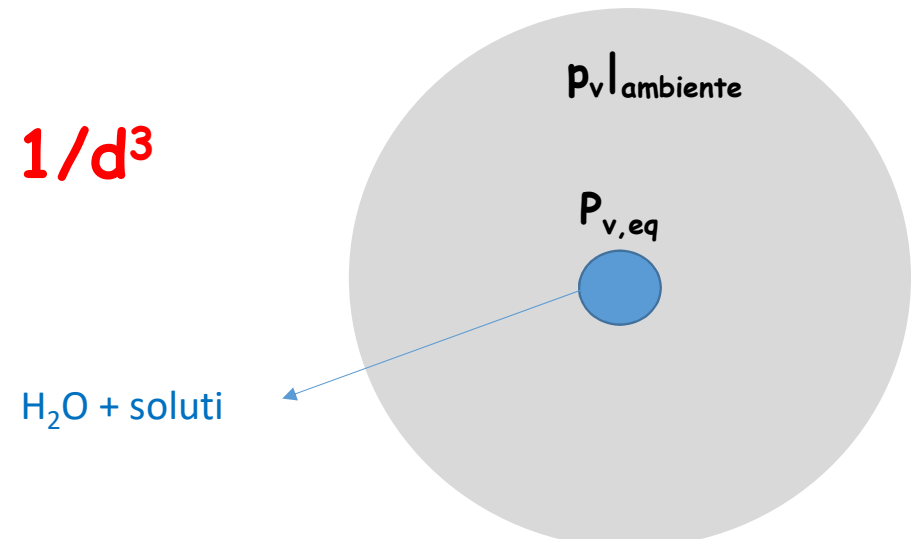
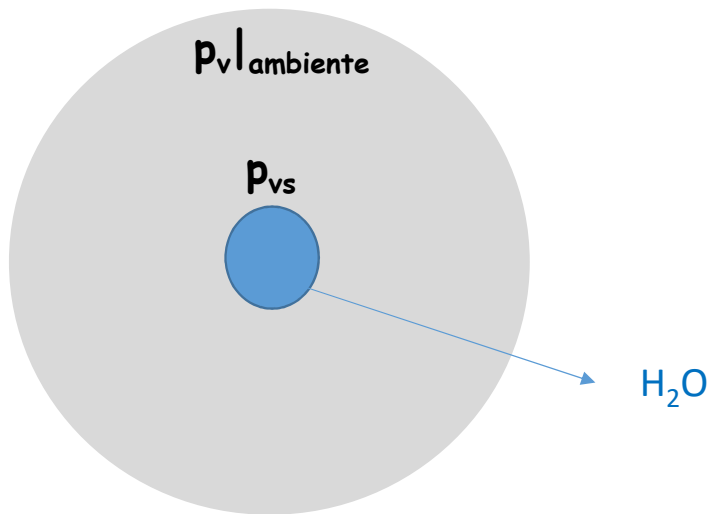
**Si** se la goccia non contiene soluti

Ma le gocce respiratorie contengono soluti:  
(tipicamente NaCl, mucina, tensioattivi,.....)



$p_{vs}$  si riduce a  $p_{v,eq}$

$$(p_{vs} - p_{v,eq}) \approx 1/d^3$$



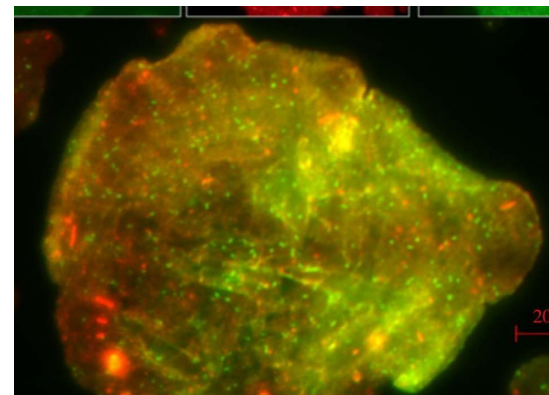
## Inoltre

Se l'umidità relativa dell'ambiente UR scende al di sotto di un valore critico (intorno al 45 %)

la goccia evapora rapidamente e si riduce al suo nucleo secco (efflorescenza)

Immagine fluorescente del residuo secco di una goccia (di diametro iniziale 200  $\mu\text{m}$ ) contenente virus dopo l'esposizione ad un ambiente con UR del 29%. I punti verdi brillanti indicano la presunta posizione dei circa 200 virioni

*(Vejerano e Marr, 2018)*



**In conclusione:  
Lo stato finale delle goccioline può essere**

- Una gocciolina più piccola**
- Un nucleo secco cristallizzato**



**In entrambi i casi si pone un problema:**

**SE LA PARTICELLA ERA INIZIALMENTE INFETTA, RESTA TALE?**

Ma torniamo alle goccioline:  
qual è lo spettro delle dimensioni delle particelle emesse ?

## UN PROBLEMA APERTO

Le osservazioni sperimentali forniscono un quadro molto incerto

Con risultati che differiscono anche di ordini di grandezza !

# Respirazione



Concentrazioni 0,1-0,3 gocce /cm<sup>3</sup><sub>aria</sub>



**MILIONI DI GOCCE EMESSE IN UN GIORNO**

# Vocalizzazione



**concentrazione gocce  
cresce proporzionalmente  
all'intensità del suono emesso**  
(Asadi et al, 2020)

L'evento di superspreading del coro della Skagit  
Valley in Mount Vernon il 10 Marzo



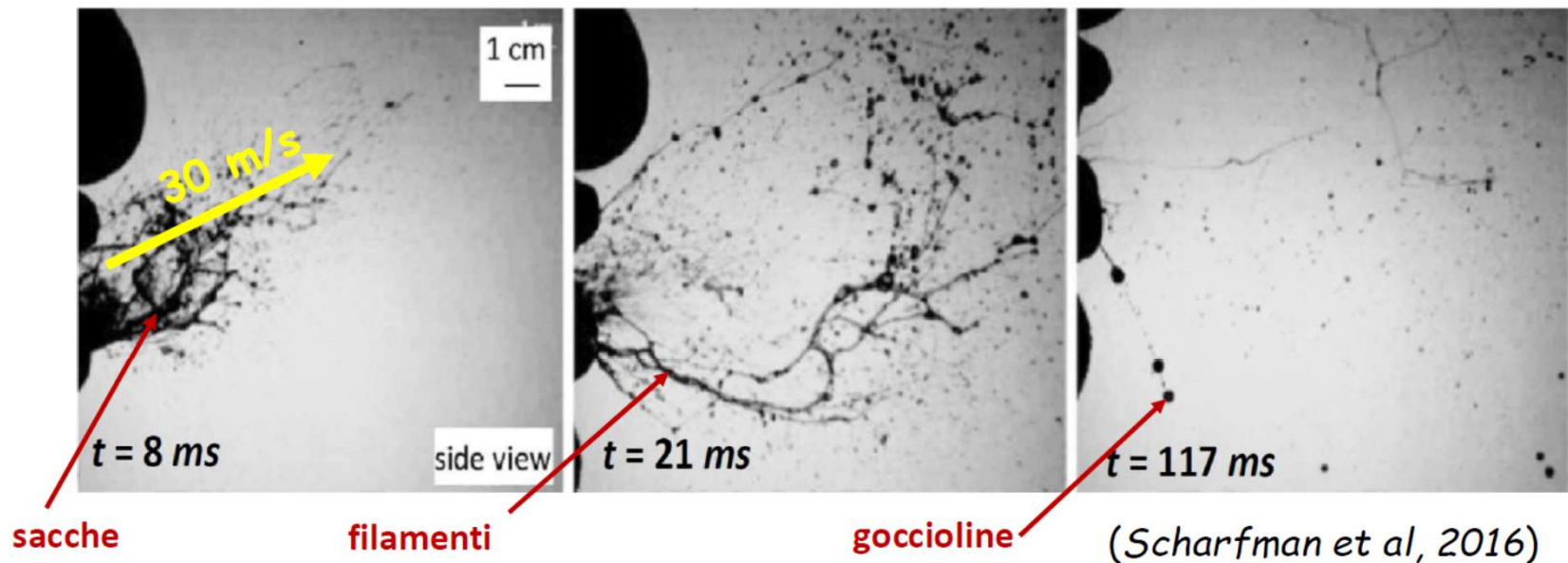
CNN: **Two people have died** from Covid-19 and **45 people are ill** after a March 10 choir practice in Washington state



"During the entire rehearsal, **no one sneezed, no one coughed**, no one there appeared to be sick in any way," Carolynn Comstock

## Starnuto

registrato con  
frequenza di  
1000 fotogrammi  
sec



360  $\mu\text{m}$

o

72  $\mu\text{m}$

386  $\mu\text{m}$

(Han et al, 2013)

Ma le strutture liquide espulse non sono inizialmente goccioline !



# **L'evoluzione della nuvola respiratoria**

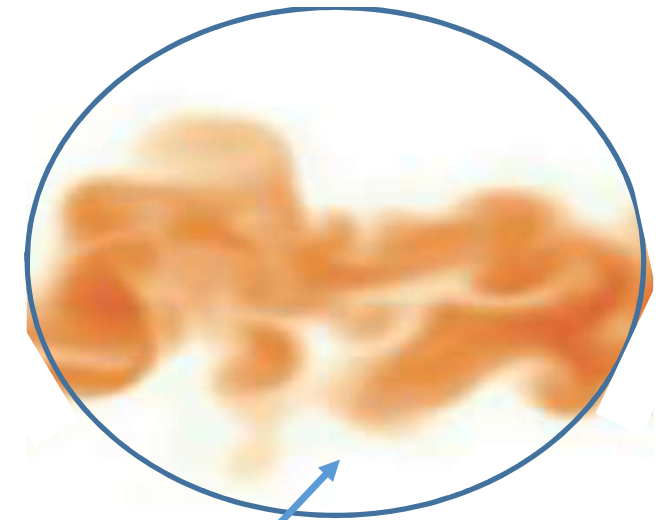
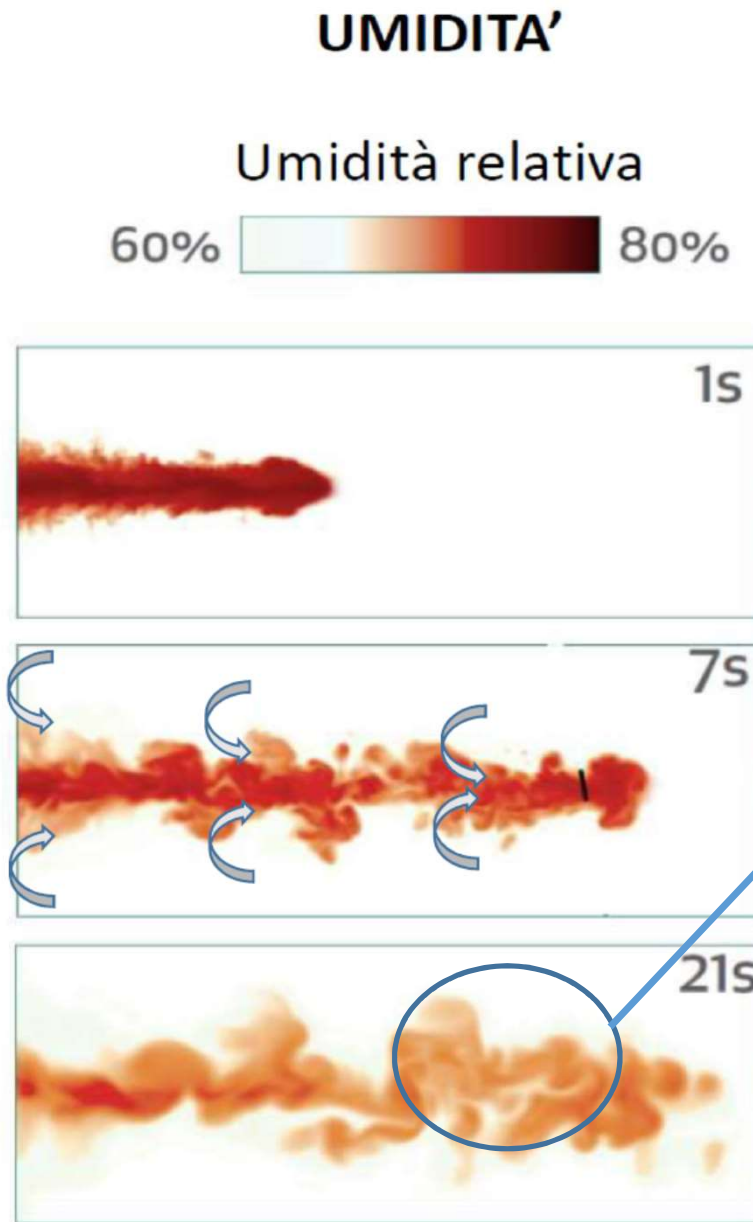
# Fluodinamica di un Colpo di tosse

(Rosti et al, in revisione)

Ma vedi anche Lohse e Verzicco (in revisione)

## Meccanismo nel campo vicino

'Entrainment' di aria dell'ambiente nella nuvola respiratoria che si miscela e diventa meno satura



Il campo di umidità é TURBOLENTO :

forti fluttuazioni alternate a regioni ben miscelate

## IL TEMPO DI EVAPORAZIONE DELLE GOCCIOLINE AUMENTA PER EFFETTO DELLA TURBOLENZA.

Le **gocce grandi** seguono traiettorie balistiche sostanzialmente **ininfluenzate dalla turbolenza**.

Le **gocce piccole**, evaporando più lentamente, restano relativamente 'pesanti' più a lungo e percorrono distanze più brevi prima di raggiungere il suolo

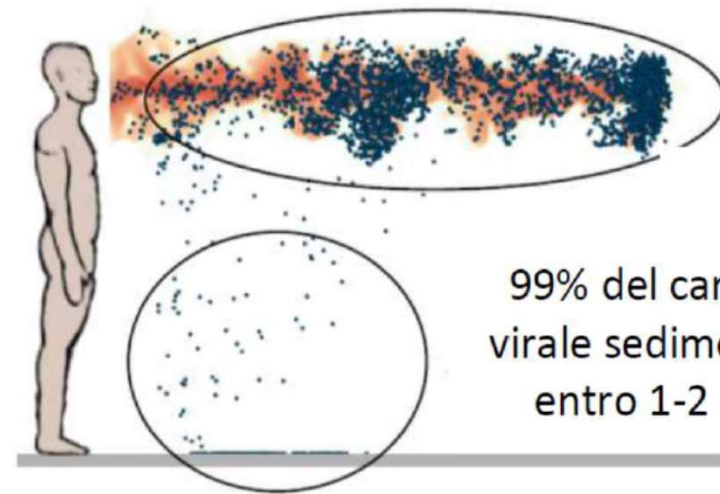
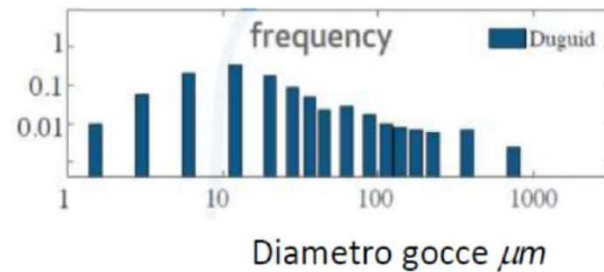


**il raggio di trasmissione del contagio si riduce per effetto della turbolenza.**

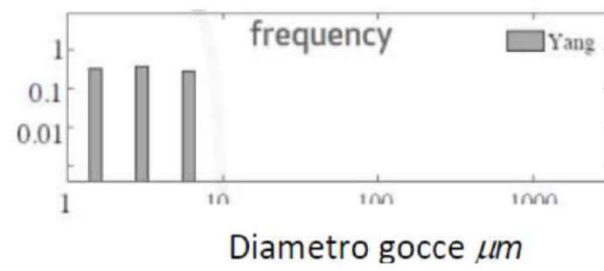
**Ruolo  
cruciale  
distribuzione  
iniziale delle  
goccioline**

**DISTRIBUZIONE  
INIZIALE  
DIAMETRI GOCCE**

Duguid (1946)



99% del carico virale sedimenta entro 1-2 m



Yang e Marr (2007)



il carico virale non sedimenta nel corso della simulazione (60 s)

50cm

## Stima

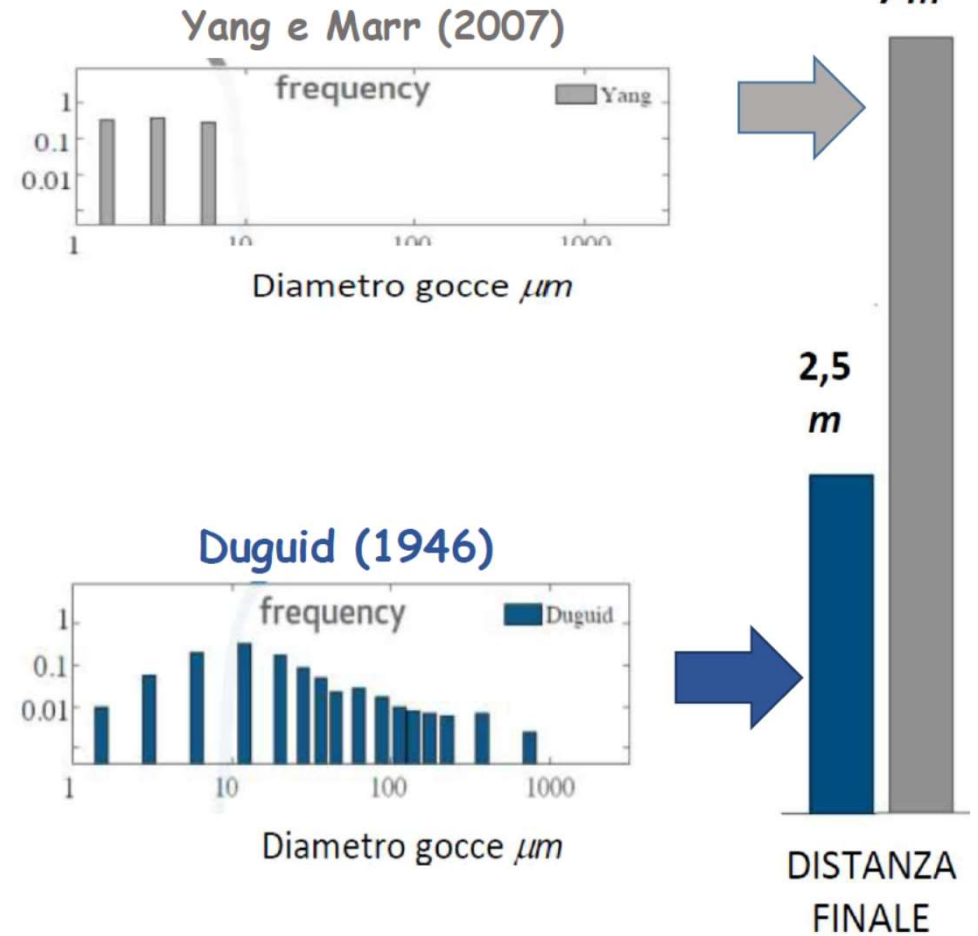
Distanza raggiunta  
dal centro di massa  
delle goccioline

**IN ASSENZA DI  
VENTILAZIONE**

Esperimenti  
numerici con 8  
diverse  
distribuzioni  
forniscono stime  
comprese da  
minimo di 2,5 m  
a 7 m

*(Rosti et al, 2020)*

Distanza Dipende dalla  
Distribuzione iniziale dei  
diametri



## Questioni fondamentali per i virologi

1

QUAL È LA **CARICA VIRALE** NELLE EMISSIONI RESPIRATORIE DI PAZIENTI INFETTI DA SARS-COV-2 ?

QUAL È LA DOSE MINIMA DI CARICA VIRALE IN GRADO DI PRODURRE L'INFEZIONE (**QUANTO D'INFEZIONE** DI WELLS) ?

2

PER QUANTO TEMPO IL VIRUS SI MANTIENE **STABILE** ?

Al variare di temperatura, umidità, insolazione

## **Parte seconda**

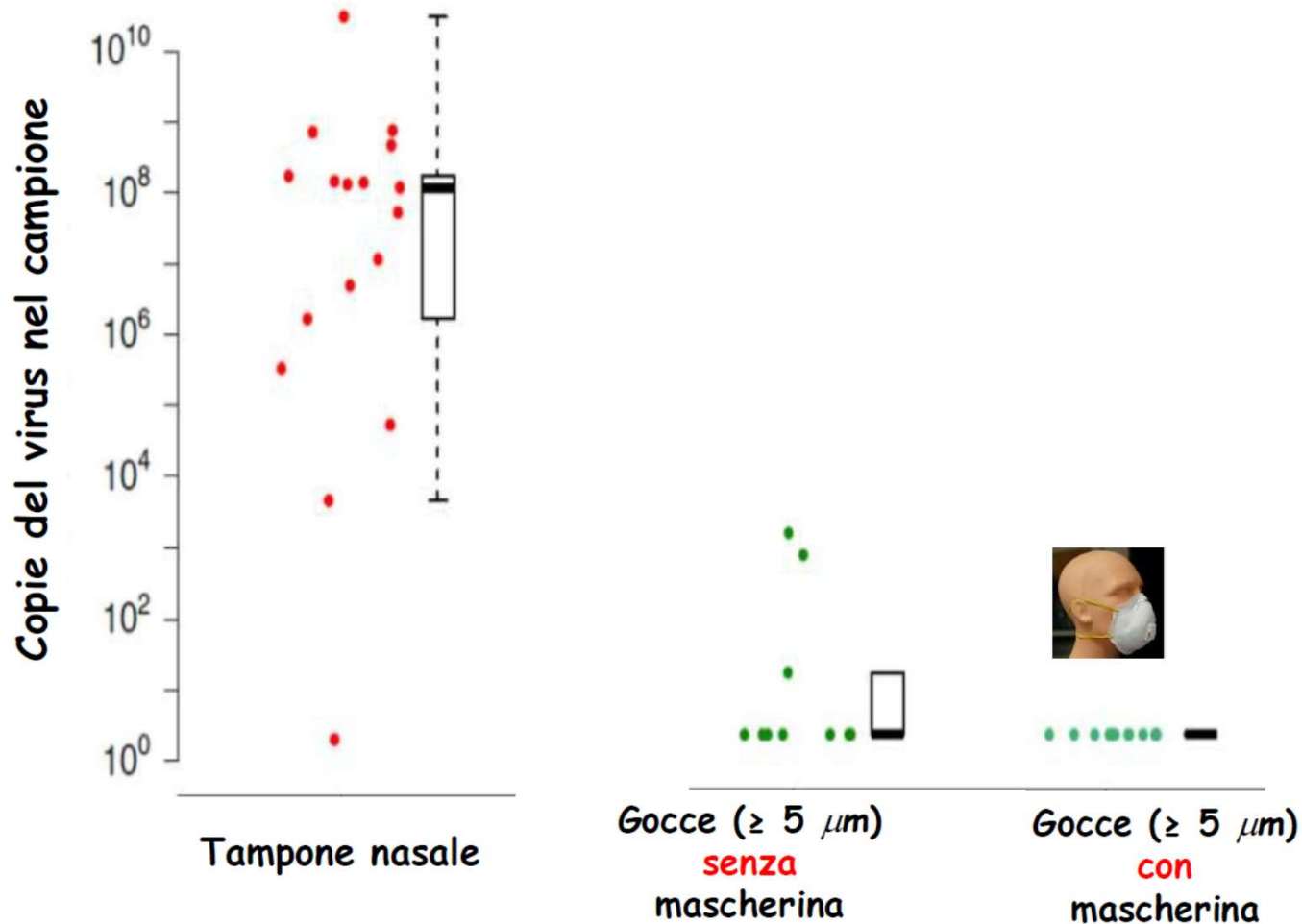
### **Le implicazioni per il contagio**

**1- Il ruolo delle mascherine**

**2- Il ruolo del distanziamento fisico**

**3- Il ruolo dell'aerazione negli ambienti chiusi**

## Ruolo mascherina: filtro per le particelle



Le FFP2 catturano almeno il 95% delle particelle contaminanti di dimensioni da meno di un micron a oltre  $100 \mu\text{m}$  con flussi respiratori compresi fra 10 e  $100 \text{ l/min}$ .

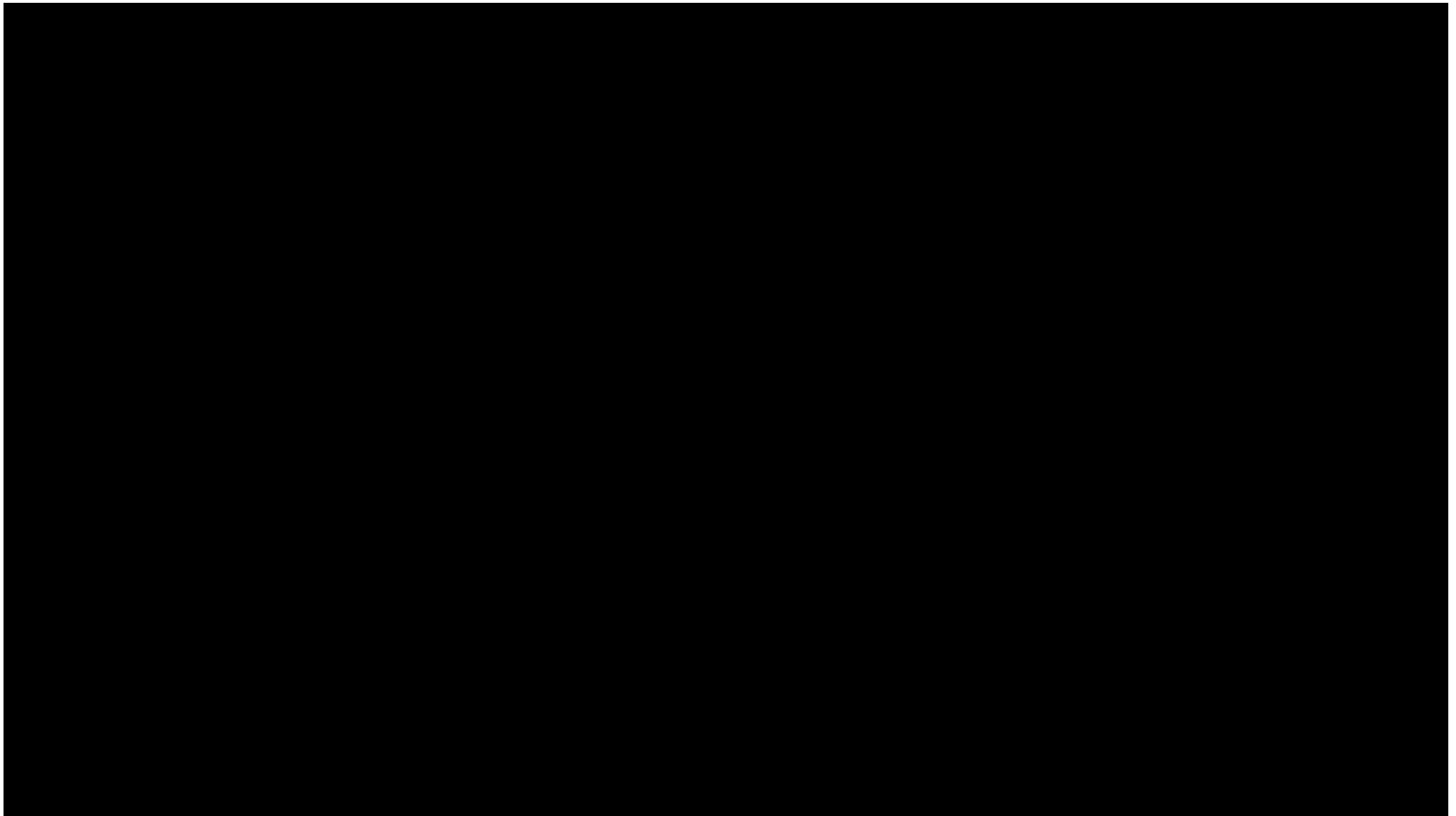
Valutazioni comparative fondate su dati clinici relativi a coronavirus (Leung et al, 2020)



*La reale efficacia di una mascherina non si esaurisce nella sua capacità filtrante del flusso anteriore prodotto dal soggetto.*

Conta anche l'efficienza 'adattativa' dei vari dispositivi: la mascherina consente sempre, sia espirando che inspirando, che parte del flusso d'aria si insinui nel gap fra il suo bordo e il viso

[https://aip.scitation.org/doi/suppl/10.1063/5.0022968/suppl\\_file/movie1.mp4](https://aip.scitation.org/doi/suppl/10.1063/5.0022968/suppl_file/movie1.mp4)



**MA ALLORA IL FAMOSO  
DISTANZIAMENTO SOCIALE  
?**



Vedi conclusioni



Paziente 0  
Ignaro di essere infetto  
da SARS-COV-2



Paziente 0 viaggia 100  
minuti da A a B e ritorno:  
**infetta 23 persone**



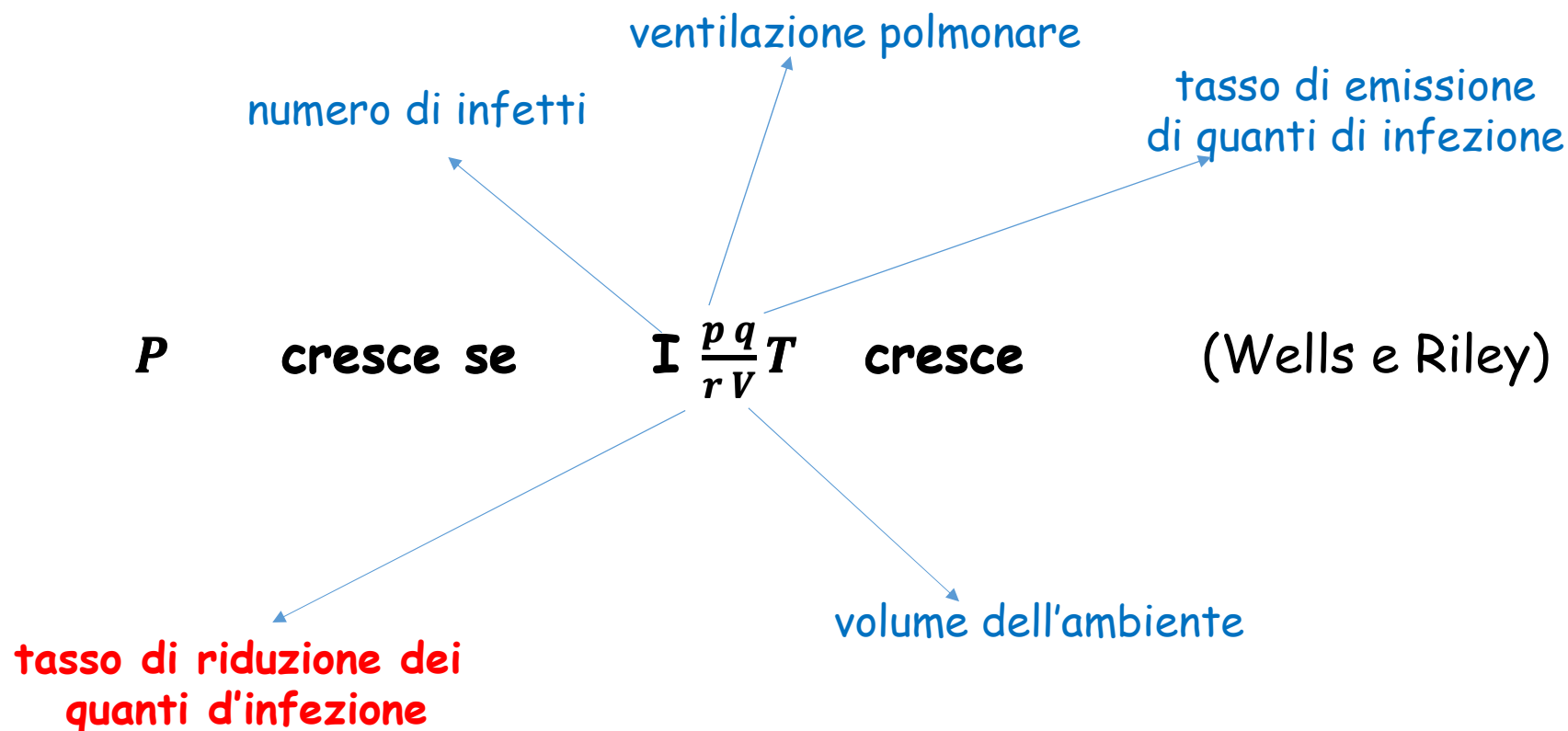
**Nessun infettato**  
Stesso tragitto



Shen et al (2020)



# Probabilità $P$ di **CONTAGIO** in ambiente chiuso nel tempo di esposizione $T$





$$V = 300 \text{ m}^3, T = 4 \text{ h}, q = 1,6 \text{ quanti/h}$$

$r \approx 0,2 / \text{h}$  imperfetta tenuta degli infissi

$r \approx 4 / \text{h}$  apertura delle finestre

*Rischio di  
contagio*

**DIMINUISCE**

*da un valore  
elevato (5%)  
ad un valore  
più accettabile  
(3‰)*

*con la semplice  
apertura di  
una finestra.*

## Riflessioni conclusive

1- PURTROPPO LE RACCOMANDAZIONI DELL'OMS  
NON HANNO FONDAMENTO SCIENTIFICO

La fluidinamica ci insegna che il contagio 'vicino' indotto da emissioni respiratorie **VIOLENTE** (tosse, starnuti) **NON PROTETTE** raggiunge distanze molto maggiori di 1m che possono superare gli 8 m



**DISTANZIAMENTO FISICO DI 1 m**

**SUFFICIENTE SOLO SE ASSOCIATO A PROTEZIONE**



## 2- LE ESITAZIONI DELL'OMS SUL CONTAGIO LONTANO

- Sono **sempre meno giustificate** con il crescere dell'evidenza empirica di contagi che non possono essere stati indotti che da aerosol trasportati per via aerea
- Rivelano tuttavia il vero **'collo di bottiglia'** che ostacola la comprensione piena del fenomeno:

### UNA CARENZA DI RICERCA DI BASE

La fluidodinamica è in grado (o sarà presto in grado) di dirci tutto sul destino delle goccioline, quanto evaporano, quali distanze raggiungono in funzione delle condizioni ambientali

Ma si ferma di fronte ad una domanda a cui la scienza medica non sembra ad oggi in grado di rispondere:

**QUAL È IL DESTINO INFETTIVO DELLE GOCCIOLINE, RIDOTTESI DI DIMENSIONI O ESSICcate, IN AMBIENTI PIÙ O MENO UMIDI E ALLE DIVERSE TEMPERATURE ?**

### 3 - Intensificare ricerca interdisciplinare

**Necessaria un'intensificazione delle collaborazioni interdisciplinari fra ingegneri, fisici, matematici e cultori di scienze mediche.**

La UE, il Ministero della Ricerca Scientifica e l'Accademia Nazionale dei Lincei potranno svolgere un ruolo di stimolo :

- favorendo finanziamenti di ricerche e/o l'istituzione di un **centro di ricerche Europeo** che vedano l'incontro di tutte le culture scientifiche, anche fortemente differenziate, che si rivelano necessarie
- istituendo **premi** significativi destinati a coloro che tale incontro hanno saputo sperimentare con successo.

## 4 - E nel frattempo ?

**Principio di precauzione =  
distanziamento + protezione + ventilazione**

**Diffondere la cultura della prevenzione e accrescere la coscienza civica**  
delle famiglie prima ancora che dei ragazzi,  
degli insegnanti e delle direzioni scolastiche prima ancora che degli studenti

**l'Accademia Nazionale dei Lincei potrà, se lo riterrà, svolgere un  
importante ruolo nella disseminazione di questa cultura**

**attraverso le sue numerose attività  
e in particolare attraverso la sua fondazione dei Lincei per la scuola.**

**Grazie dell'attenzione**