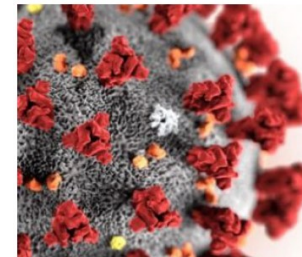


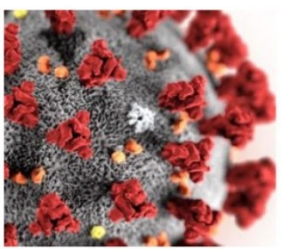
LA FISICA DELLA MASCHERINA



Nella sua intervista per l'Aula di Scienze Zanichelli, il virologo Giovanni Maga ricorda le raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità sull'uso della mascherina per contrastare il contagio da COVID-19.

È una limitazione alla nostra libertà individuale ma possiamo accettarla di buon grado se, oltre a dividerne le motivazioni etiche, capiamo come funziona dal punto di vista della fisica.





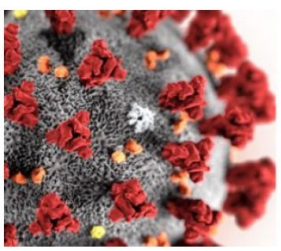
LA FISICA DELLA MASCHERINA



Gli studi confermano che l'uso delle mascherine salva molte vite umane, limitando la diffusione del coronavirus e le opportunità di contagio, e alcune ricerche suggeriscono addirittura che possa ridurre la gravità della malattia nel caso se ne venga colpiti. Malgrado questo, si continua a discutere della loro efficacia. Quante prove ci vogliono ancora per stabilire la loro utilità una volta per tutte?



LA FISICA DELLA MASCHERINA



Le visiere trasparenti possono sembrare più comode delle mascherine, ma non impediscono alle goccioline di saliva di diffondersi nell'ambiente circostante. A stabilirlo è un nuovo studio sperimentale che mette in guardia dall'uso di protezioni diverse dalle mascherine chirurgiche o in tessuto, anche in vista della riapertura di scuole e università



Le nubi di goccioline che fuoriescono dalla parte bassa della visiera evidenziate dalla luce laser (© Florida Atlantic University's College of Engineering and Computer Science)



LA FISICA DELLA MASCHERINA



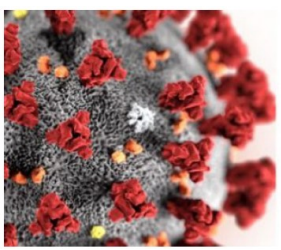
Un modello teorico e prove di laboratorio basate su una tecnica di visualizzazione laser hanno calcolato come si disperdono le goccioline di saliva, dimostrando che la distanza è superiore a quella finora considerata di sicurezza.

Testate anche le mascherine: le più efficaci sono quelle con diversi strati di tessuto o quelle a forma di cono acquistabili in farmacia



Simulazione dell'espulsione di goccioline di saliva visualizzata con una tecnica laser (©Siddhartha Verma, Manhar R. Dhanak and John Frankensfield)

LA FISICA DELLA MASCHERINA

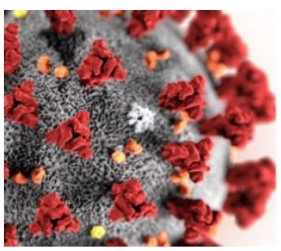


Un nuovo approccio matematico ha individuato i punti della struttura virale che si modificano per effetto dell'infezione e che rappresentano bersagli efficaci per farmaci e vaccini.



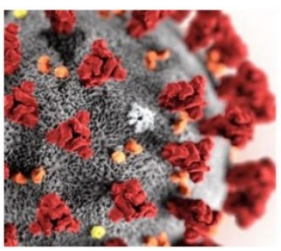
Modello tridimensionale di una proteina *spike* sulla superficie di SARS-CoV-2 (© Phanie/AGF)

LA FISICA DELLA MASCHERINA



La formazione di trombi è una complicanza letale in una buona percentuale di coloro che si ammalano gravemente di COVID-19. Alcuni studi stanno iniziando a chiarire i meccanismi alla base di questa correlazione, ma la strategia terapeutica giusta per una guarigione è ancora lontana

Immagine al microscopio elettronico di un trombo in un piccolo vaso (© Science Photo Library/AGF)



LA FISICA DELLA MASCHERINA

Il virus si trasmette con le goccioline

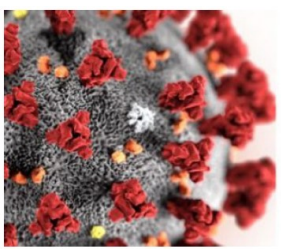


Il meccanismo di trasmissione del COVID-19 è il passaggio fisico del virus da un soggetto infetto a un soggetto suscettibile (sano). Ciò può avvenire attraverso un contatto diretto tra i due individui, magari con una stretta di mano.

Quando il suscettibile si tocca il viso, i virus depositati nella sua mano entrano in contatto con le mucose del naso, della bocca o degli occhi e iniziano a proliferare.

Ma il contagio può avvenire anche senza contatto diretto perché, parlando o tossendo, un infetto disperde nell'ambiente goccioline di saliva (droplet) che contengono il virus. Un suscettibile che si trovi nelle immediate vicinanze ha quindi una probabilità non trascurabile di intercettare queste goccioline nelle sue vie aeree.

Per non essere contagiati basta quindi evitare di venire a contatto con goccioline emesse da un infetto: questo è il fine di quelle avvertenze che mirano a stabilire il distanziamento sociale.



LA FISICA DELLA MASCHERINA



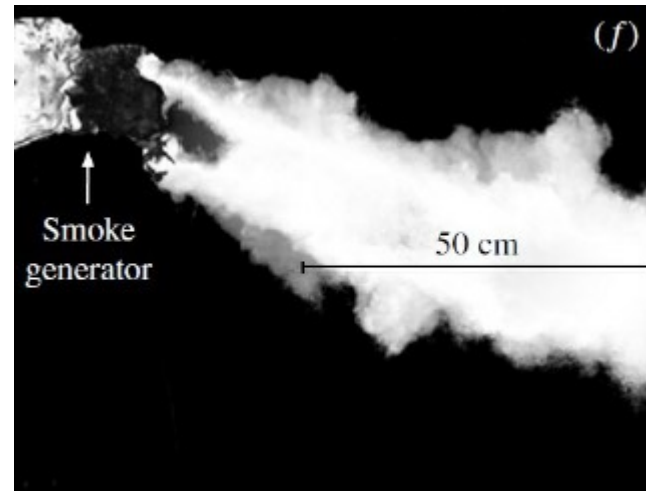
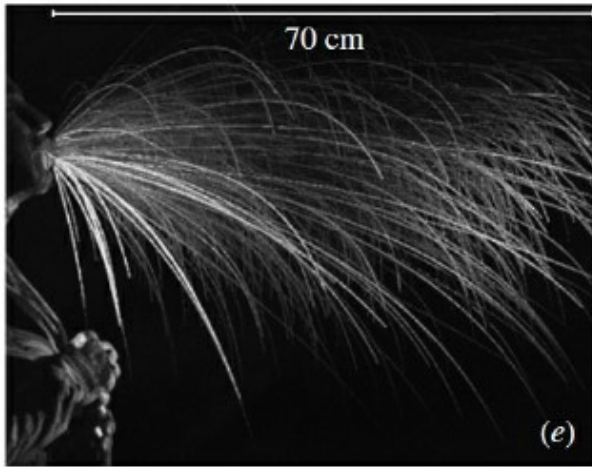
Una prima avvertenza è anche la più semplice da attuare: evitare il contatto con superfici su cui si siano depositate goccioline infettate e comunque lavarsi accuratamente le mani prima di toccarsi naso, bocca e occhi. Un'altra avvertenza è quella di stare a debita distanza da un infetto, in modo da non consentire alle goccioline che emette nell'aria di entrare in contatto con le nostre mucose.

Se stessimo tutti a 100 m di distanza gli uni dagli altri saremmo al sicuro, ma nella vita quotidiana stiamo spesso molto vicini, per esempio in un mezzo di trasporto, a scuola o in ufficio. Dobbiamo quindi limitare il raggio d'azione delle goccioline che emettiamo negli atti respiratori: lo possiamo fare in modo efficace indossando opportunamente una mascherina. Cerchiamo di capire perché.

LA FISICA DELLA MASCHERINA

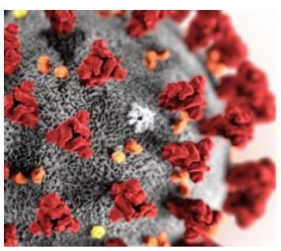
Le goccioline più piccole restano in aria

Durante un colpo di tosse emettiamo un flusso d'aria in cui sono presenti goccioline di secrezioni liquide, che si formano nelle alte vie respiratorie[. Per evidenziare i fenomeni che avvengono dopo l'emissione delle goccioline, immaginiamo di spruzzare con decisione dell'acqua con un nebulizzatore, come quelli usati nel giardinaggio.



Guardando il getto, notiamo che si distinguono due fenomeni distinti:

- le goccioline più grandi cadono velocemente con traiettorie curve, molto simili a quelle di un getto d'acqua che esce da una canna per irrigare;
- le goccioline più piccole formano una nube che permane nell'aria più a lungo.



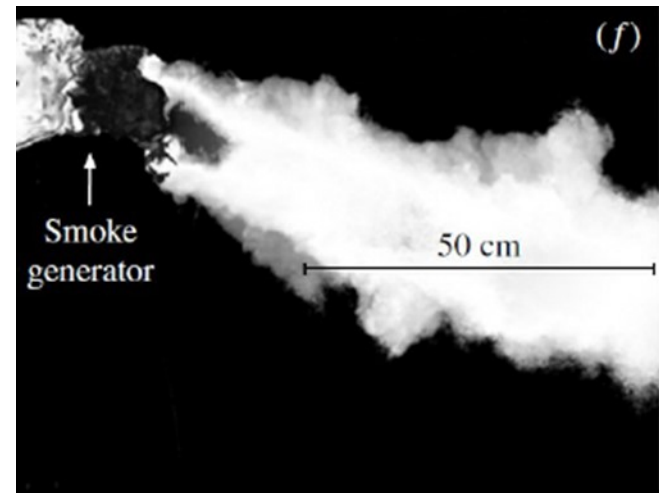
LA FISICA DELLA MASCHERINA

Le goccioline più piccole restano in aria



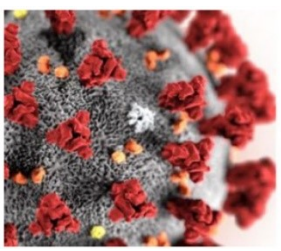
Se osserviamo l'evoluzione di questa nube in una stanza con aria ferma, notiamo che al suo interno le goccioline non si spostano tutte allo stesso modo: piccoli sbuffi si muovono vorticando verso l'alto, mentre altri si spostano lateralmente o verso il basso.

Sono moti turbolenti, che diffondono le goccioline in direzioni casuali e diverse da quelle in cui sono state emesse. Le goccioline più piccole restano in aria più tempo delle goccioline più grandi e cadono più lontano, aumentando così la probabilità di contagio

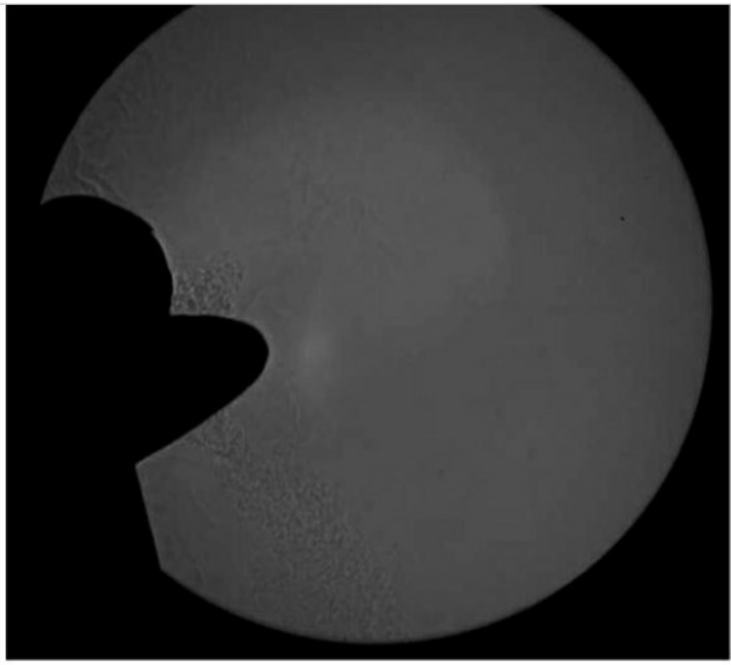


Le goccioline emesse in un colpo di tosse da una persona infetta contengono virus o RNA virale in quantità variabili. Gli esperimenti con volontari sani mostrano che **le traiettorie delle goccioline e la loro permanenza in aria dipendono dal loro diametro.**

LA FISICA DELLA MASCHERINA



Appare evidente che le goccioline più piccole possono allontanarsi dalla sorgente ben oltre 1 m e dunque possono propagare il virus a distanze maggiori di quanto comunemente si pensi.



Lo sbuffo d'aria prodotto da un colpo di tosse è solamente deviato dal gomito

Mettere una mano davanti alla bocca quando tossiamo non è una buona idea per due motivi:

- **depositiamo sulla mano gocce di saliva e, se siamo infetti, contagiamo cose e persone che tocchiamo in seguito;**
- **la mano non blocca lo sbuffo d'aria emesso col colpo di tosse ma lo fraziona e parzialmente lo devia. In questo modo lo sbuffo continua a propagarsi nell'ambiente con il suo potenziale carico di virus.**

Meglio tossire o starnutire nella piega del gomito ma, come mostra la figura, anche in questo caso lo sbuffo del colpo di tosse non è bloccato in modo efficace ma solo deviato. 11



LA FISICA DELLA MASCHERINA



Le mascherine bloccano le goccioline grandi e riducono la velocità di quelle piccole

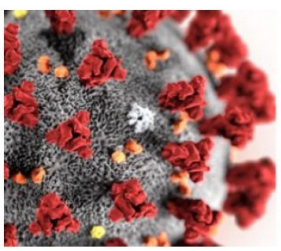
L'unica azione che contribuisce alla tutela della salute altrui è indossare una mascherina.

Un recente studio ha evidenziato che, in un campione di malati COVID-19, l'uso della mascherina chirurgica “riduce in modo significativo” la presenza del virus nelle goccioline emesse da un infetto.

La letteratura medica è comunque concorde nel sostenere che le mascherine chirurgiche non garantiscono uno scudo totale alla trasmissione del virus perché esse non trattengono tutte le goccioline emesse negli atti respiratori.

Però intercettano le goccioline più grandi e limitano la velocità dell'aria emessa, contribuendo così a diminuire la distanza a cui arrivano le goccioline più piccole trasportate dall'aria

Per questa ragione l'Organizzazione Mondiale della Sanità raccomanda di indossare una mascherina e **mantenere una distanza di almeno 1 m, e possibilmente 2 m,** dalle altre persone, soprattutto negli ambienti chiusi



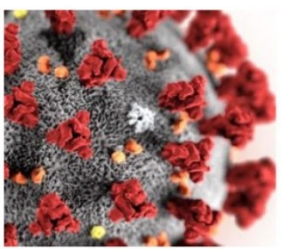
LA FISICA DELLA MASCHERINA

La fisica del colpo di tosse



Durante un colpo di tosse emettiamo un flusso d'aria turbolento che contiene goccioline di varie dimensioni. Negli ultimi decenni sono state sviluppate tecniche affidabili per misurare il numero e il diametro delle goccioline emesse; la maggior parte ha un diametro minore di $1 \mu\text{m}$ ma è significativo il numero di quelle con diametri dell'ordine dei $10 \mu\text{m}$.

Il COVID-19 ha un **diámetro dell'ordine di $0,1 \mu\text{m}$** , cioè è diecimila volte più piccolo di un millimetro. Quindi anche le goccioline più piccole possono trasportarlo



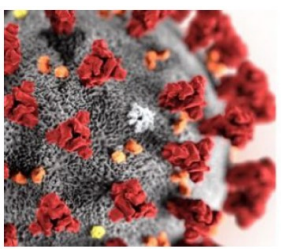
LA FISICA DELLA MASCHERINA



Per capire come le goccioline diffondono nell'ambiente dobbiamo esaminare l'evoluzione del flusso d'aria emesso durante il colpo di tosse ,che esce dalla bocca con una temperatura di 35 °C, quindi maggiore di quella esterna, e con una velocità iniziale di 8-10 m/s.

I moti turbolenti:

- **trascinano all'interno dell'aria emessa dalla bocca un volume crescente di aria dell'ambiente, con l'effetto di aumentare il volume dell'aria in moto**
- **mantengono le goccioline più piccole all'interno del volume d'aria in moto, la cui velocità diminuisce man mano che si propaga nell'ambiente.**



LA FISICA DELLA MASCHERINA



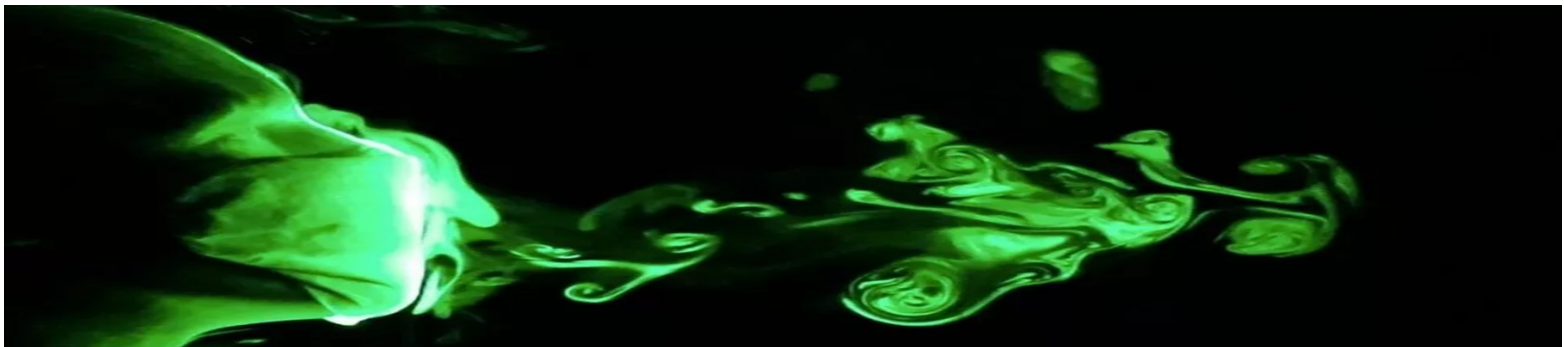
Analizziamo cosa accade alle goccioline

Su una gocciolina in moto l'aria esercita una forza d'attrito che cresce in modo lineare con la velocità: questo comporta che una gocciolina con diametro d non può superare la velocità limite: $v_{lim} = (3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}) d^2 = 30 d^2 \text{ m/s}$

La tabella di alcune velocità limite:

| | | | | | |
|-----------------------|-------|------|-----|----|----|
| d (μm) | 1 | 5 | 10 | 20 | 80 |
| v_{lim} (cm/s) | 0,003 | 0,08 | 0,3 | 1 | 20 |

Consideriamo una gocciolina con diametro $20 \mu\text{m}$ e velocità limite di 1 cm/s . Fino a quando è immersa in un flusso d'aria che ha velocità maggiore di 1 cm/s , la gocciolina non cade ma viene trasportata dai moti turbolenti presenti nel flusso

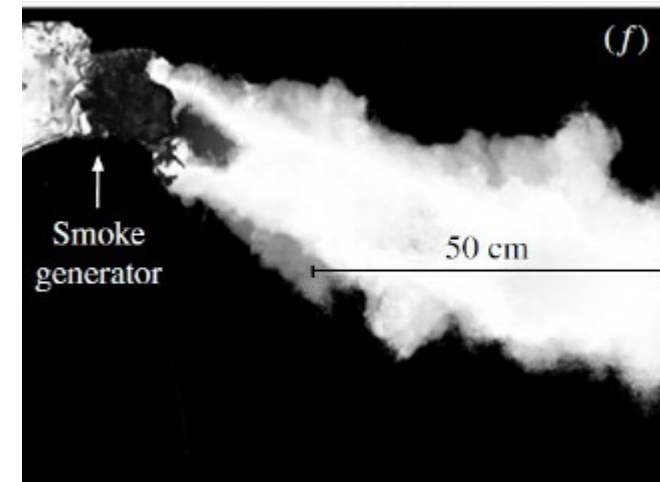
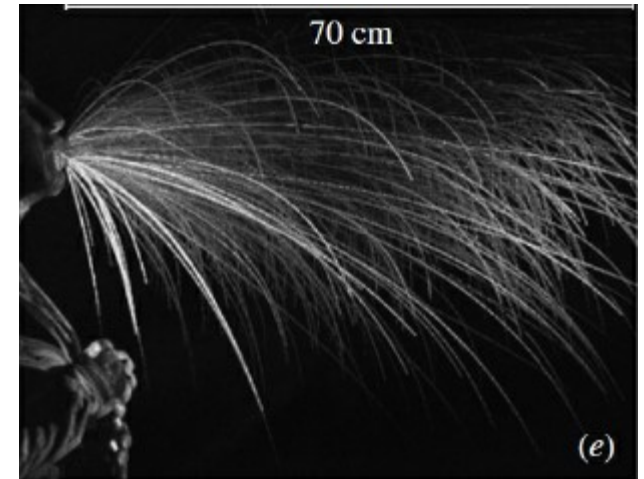


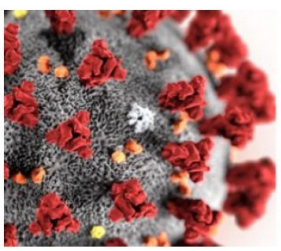
LA FISICA DELLA MASCHERINA

Analizziamo cosa accade alle goccioline

Questo spiega i comportamenti visualizzati nelle figure 1 e 2:

- le goccioline con diametri dell'ordine del millimetro ($1000\ \mu\text{m}$) cadono quasi subito dopo essere state emesse, perché la velocità dell'aria in cui si trovano diventa ben presto minore della loro velocità limite;
- le goccioline con diametri dell'ordine dei $10\ \mu\text{m}$ si muovono qualche secondo col flusso d'aria e cadono solo quando le velocità dei moti turbolenti scendono sotto il cm/s .
- le goccioline con diametri dell'ordine di $1\ \mu\text{m}$ rimangono all'interno del flusso d'aria perché hanno velocità limiti troppo piccole per uscirne.





LA FISICA DELLA MASCHERINA



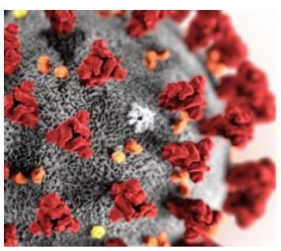
Analizziamo cosa accade alle goccioline

Quindi le goccioline più piccole stanno in aria molto a lungo e si disperdono in grandi volumi d'aria nell'ambiente

Ad aumentare ulteriormente la dispersione delle goccioline più piccole contribuiscono due fenomeni:

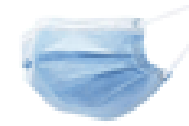
- **le goccioline iniziano a evaporare non appena escono nell'ambiente. Ciò accade perché la tensione di vapore sulla superficie convessa di un liquido è maggiore di quella su una superficie piana. La conseguenza è che i diametri delle goccioline diminuiscono rapidamente e quindi aumenta il numero di goccioline minute che permangono nel flusso d'aria;**
- **l'aria emessa col colpo di tosse ha una temperatura di circa 34 °C ed è maggiore di quella ambiente.**

Il volume d'aria emesso risente quindi di una spinta d'Archimede da parte dell'aria circostante. L'effetto è visibile nella figura 2: il flusso d'aria modifica progressivamente la sua direzione e tende a curvarsi verso l'alto



LA FISICA DELLA MASCHERINA

Le mascherine chirurgiche monouso



Chirurgica

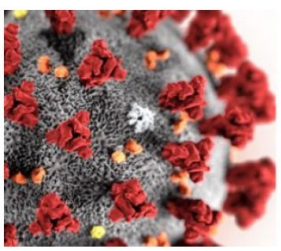


Questa tipologia di mascherine, come suggerisce anche il nome, è perlopiù utilizzata in ambito sanitario-ospedaliero. Sono formate da tessuto non tessuto (**Tnt**) ed hanno una capacità filtrante totale verso l'esterno, mentre verso l'interno la capacità è ridotta, anche in ragione della struttura stessa della mascherina, che non aderisce completamente al volto.

Lo strato esterno è costituito da materiale detto **spunbond** (tipicamente usato nel settore automobilistico e industriale) che permette di conferire resistenza meccanica e proprietà idrofobe al dispositivo. Lo strato intermedio è costituito da tessuto di tipo **melt brown**, con una trama filtrante di 1-3 micron di diametro. Un eventuale terzo strato di cui si compongono alcune tipologie, è realizzato come il primo in spunbond, ed è in grado di proteggere la pelle dallo strato filtrante.

La funzione principale di questi dispositivi, infatti, è quella di evitare che il contagiato possa infettare le altre persone con cui viene a contatto, tutelando quindi la salute altrui ed evitando che i droplets (le goccioline emesse tramite le vie aeree superiori) raggiungano le persone e le superfici.

LA FISICA DELLA MASCHERINA



FFP1



FFP2



FFP3

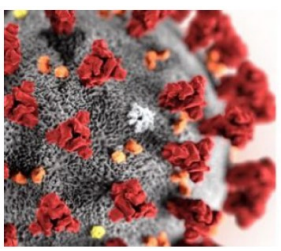
Differenze tra FFP1, FFP2, FFP3

La sigla delle mascherine **FFP** sta per **Filtering Face Piece**, e questa tipologia di dispositivi differisce tra loro tramite il numero finale che ne designa l'efficacia filtrante sia in ingresso che in uscita.

Questi tipi di dispositivi sono anch'essi costituiti da materiale Tnt e sono stati pensati per un uso di tipo industriale, in modo da proteggere gli operatori da polveri e fumi nei vari ambiti d'impiego, come quelli siderurgici, farmaceutici, metallurgici ecc

Il loro uso, per coloro che lavorano in questi settori, è fondamentale poiché previene i danni da rischi respiratori a volte anche letali.

LA FISICA DELLA MASCHERINA



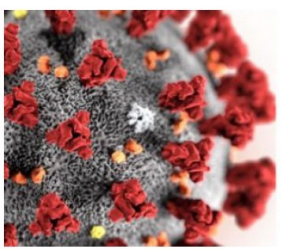
Differenze tra FFP1, FFP2, FFP3

Questi tipi di filtranti facciali si adattano e aderiscono perfettamente alle forme del volto, non lasciando alcuna zona interessata scoperta e risultano quindi utili anche in ambiti sanitari e nei reparti di malattie infettive, poiché il materiale che li costituisce ha un'alta capacità di filtraggio.

Lo strato esterno di queste tipologie di mascherine è in grado di proteggere dalle particelle di grandi dimensioni, mentre quello intermedio (solitamente realizzato in tessuto melt blown) filtra le particelle più piccole. La parte interna aiuta a mantenere compatta la forma della maschera in maniera che possa aderire al volto e protegge la fuoriuscita di agenti prodotti tramite respiro, tosse e starnuti. La parte filtrante si comporta come un setaccio, agendo meccanicamente sulle particelle con dimensioni fino a **10 micron** di diametro.

Ma cosa succede con le particelle più piccole? L'effetto elettrostatico delle fibre riesce comunque a catturarle e bloccarle, garantendo quindi un'ottima protezione a livello globale.

LA FISICA DELLA MASCHERINA



FFP1



FFP2



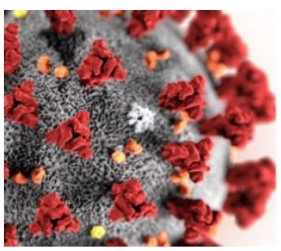
FFP3

Differenze tra FFP1, FFP2, FFP3

Le mascherine FFP in commercio si trovano sia con la valvola che senza. Quelle con la valvola consentono una respirazione più agevolata, ma proteggono unicamente solo chi le indossa. Attraverso la valvola, infatti, le particelle aeree emesse dalla persona che le utilizza, escono completamente all'esterno, non permettendo quindi agli altri di beneficiare di una eventuale protezione.

Capacità filtrante delle FFP1: 72%, dall'esterno verso chi la indossa e viceversa. Protegge in particolar modo da polveri atossiche e non fibrogene.

LA FISICA DELLA MASCHERINA



FFP1



FFP2

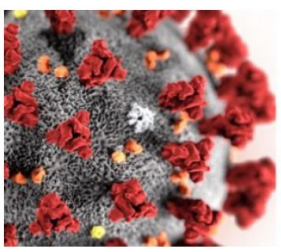


FFP3

Differenze tra FFP1, FFP2, FFP3

Capacità filtrante delle FFP2: 92%, dall'esterno verso chi la indossa e viceversa. Protegge da polveri, fumo e aerosol solidi e liquidi dannosi per la salute. Viene impiegata, ad esempio, nell'industria metallurgica o nell'industria mineraria. Nel caso del coronavirus, il diametro dei pori che costituiscono la trama del filtro sono più grandi del virus, ma sono in grado di bloccare le particelle grazie all'effetto elettrostatico

Capacità filtrante delle FFP3: 98%, dall'esterno verso chi la indossa e viceversa. Protegge da polveri, fumo e aerosol solidi, liquidi tossici e dannosi per la salute. Questa classe di dispositivo è in grado di filtrare le sostanze nocive cancerogene e radioattive e i microrganismi patogeni come virus, batteri e funghi. E' da considerare la tipologia di dispositivo che protegge maggiormente in maniera totale. I pori che costituiscono la trama filtrante, infatti, hanno un diametro minore rispetto a quello del coronavirus e perciò agiscono in maniera simile alla trama filtrante delle mascherine chirurgiche. Possono risultare scomode poiché la respirazione è più difficoltosa e l'umidità che si accumula internamente riduce il potere filtrante in ingresso, per questo motivo devono essere sostituite con più frequenza.



LA FISICA DELLA MASCHERINA

In sintesi



La mascherina serve:

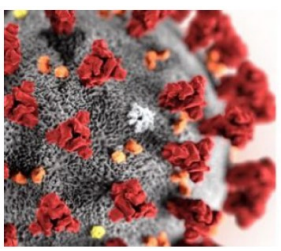
- **per bloccare le goccioline più grandi.**

Altrimenti si diffonderebbero nell'aria, cadendo a breve distanza e infettando le superfici limitrofe. Inoltre, una parte di esse evaporerebbe formando goccioline più piccole;

- **per intercettare le goccioline più piccole e per ridurre la velocità del flusso turbolento d'aria emesso.**

Diminuendo la velocità dei moti turbolenti, diminuiscono sia il tempo di permanenza delle goccioline nell'aria sia la distanza che esse raggiungono

LA FISICA DELLA MASCHERINA



COVID-19, online un questionario rivolto ai cittadini per stimare la reale diffusione del contagio

Il CNR in collaborazione con l'Università di Milano, la SIGG e la SIMIT lancia il progetto EPICOID19, un'indagine epidemiologica con risposte raccolte in forma anonima per dare alle autorità sanitarie un contributo immediato nella definizione di programmi di sorveglianza e intervento