

Mascherine chirurgiche vs respiratori: proprietà e indicazioni d'uso

Surgical masks vs respirators: properties and indications for use

Ricevuto il 28 aprile 2020
Accettato il 3 giugno 2020

*Autore di riferimento
Vittorio Checchi
vittorio.checchi@unimore.it

Vittorio Checchi^{1*}
Luigi Checchi²

¹Dipartimento chirurgico, medico, odontoiatrico e di scienze morfologiche, Struttura complessa di odontoiatria e chirurgia oro-maxillo-facciale, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Modena
²Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna

RIASSUNTO

OBIETTIVI

Sono numerose le procedure odontoiatriche in grado di creare un aerosol capace di trasportare batteri, virus e particelle inquinanti nell'ambiente circostante. L'utilizzo di una turbina o di uno strumento ultrasonico va a creare una sospensione di particelle di vario diametro che presenta un serio rischio infettivo per le cavità nasali e tracheo-bronchiali. Questa deposizione di particelle avviene su differenti livelli a seconda delle loro dimensioni, dove le più grosse vengono fermate nelle cavità nasali, mentre le più piccole finiscono negli alveoli polmonari. Queste particelle aerosoliche hanno un proprio movimento, anche di alcu-

ni metri, in parte causato dallo spostamento di masse d'aria e dai moti browniani prodotti dall'urto delle particelle gassose contro quelle aerosoliche. Poiché questa nube aerosolica persiste e si alimenta continuamente in ambienti dove pazienti e procedure si susseguono e si sovrappongono nell'arco di una giornata, è fondamentale da parte degli operatori l'utilizzo di dispositivi di protezione individuale, fra i quali appare preminente la scelta di una mascherina appropriata. L'obiettivo di questo lavoro è di chiarire la terminologia, i criteri di costruzione di una mascherina, di illustrare le differenze tra mascherine e respiratori orali e di fornire un supporto prati-

co per la protezione propria e dei pazienti, scegliendo il dispositivo adatto a ogni situazione clinica.

MATERIALI E METODI

In questo lavoro è stata condotta una revisione della letteratura nazionale e internazionale sull'argomento, sono stati raccolti i dati scientifici pubblicati dall'introduzione delle mascherine fino a oggi e vengono descritte le caratteristiche, le differenze e le indicazioni cliniche all'uso di mascherine e respiratori orali nel contesto odontoiatrico.

CONCLUSIONI

La mascherina chirurgica e il respiratore sono presidi individuali che soddisfano standard specifici

e il cui utilizzo va sempre abbinato ad altri DPI quali schermi e occhiali protettivi, copricapo, guanti, camici monouso e naturalmente a un'attenta igiene personale. Va sempre sottolineata l'importanza di esaminare la scheda tecnica riferita ai dispositivi utilizzati, al fine di controllare la necessaria stretta aderenza ai protocolli di riferimento. Ad oggi vi sono ancora pareri discordanti su quale possa essere l'indicazione corretta sulla tipologia di respiratore da utilizzare per prevenire il contagio da Sars-CoV-2. I respiratori senza filtro-valvola sembrano i dispositivi in grado di fornire la protezione più alta a operatore e paziente, ma proprio per la loro alta capaci-

tà di filtraggio rendono difficile la respirazione se portati per lungo tempo continuamente. Per migliorare la capacità respiratoria e quindi per ricercare un maggior comfort è ipotizzabile l'utilizzo di un respiratore ad alto filtraggio con valvola di esalazione, in associazione a una mascherina chirurgica da applicarvi

sopra. Le mascherine chirurgiche rimangono comunque dei validi presidi per tutte quelle prestazioni che non comportano creazione di aerosol altamente infetti e conseguente dispersione di particelle potenzialmente contaminate nell'aria. Infine, per limitare il più possibile la diffusione del Covid-19, chiunque dovrebbe

indossare una mascherina chirurgica, in modo tale che un soggetto infetto non possa contaminare l'ambiente circostante e le persone vicine.

SIGNIFICATO CLINICO

Questo contributo mette in evidenza le caratteristiche di mascherine chirurgiche e respiratori

orali, fornendo indicazioni pratiche sui dispositivi più idonei alla protezione da infezione da Covid-19.

PAROLE CHIAVE

- Mascherine chirurgiche
- Respiratori
- Aerosol
- Infezioni crociate
- Covid-19

ABSTRACT

OBJECTIVES

Many dental procedures are responsible for the creation of an aerosol capable of transporting bacteria, virus and infected particles into the surrounding environment. The use of handpieces and/or ultrasonic devices creates an aerosol of particles with different diameters that present a severe risk for nasal and tracheo-bronchial cavities. This deposition of particles occurs on different levels, depending on their dimensions: particles with larger diameter stops in the nasal cavities, while the smaller ones end up in lung alveoli. These aerosol particles have their own movement, partly caused by the displacement of air masses and by the Brownian motions produced by the impact of the gaseous particles against the aerosol ones. Since these droplets are able to persist continuously for long time in environments where patients and procedures follow and overlap over the course of a day, it is

essential for dental clinicians to adopt personal protective equipment, among which the choice of an appropriate mask. The aim of this literature overview is to clarify the terminology, the criteria for the construction of a mask, to illustrate the differences between masks and oral respirators, and to provide practical support for personal and patient protection, choosing the device suitable for each clinical situation.

MATERIALS AND METHODS

This work is a literature review of the national and international literature on this topic; the scientific data published since mask introduction to date have been collected, and the characteristics, differences and clinical indications for the use of masks and oral respirators in dentistry have been analyzed.

CONCLUSIONS

The surgical mask and the respirator are individual devices that meet specific standards and

whose use must always be combined with other PPE such as screens and protective glasses, headgear, gloves, disposable gowns and of course a careful personal hygiene. The importance of examining the technical data sheet referring to the devices used, in order to check the necessary strict adherence to the reference protocols, must always be underlined. To date there are still conflicting opinions on what the correct indication may be on the type of respirator to be used to prevent contagion from Sars-CoV-2. Respirators without a filter-valve seem to be the devices capable of providing the highest protection to the operator and patient but, precisely because of their high filtering capacity, they make breathing difficult if worn for a long time continuously. To improve respiratory capacity and therefore to seek greater comfort, the use of a high filter respirator with exhalation valve, in association with a

surgical mask to be applied on it, is conceivable. However, surgical masks remain valid devices for all those services that do not involve the creation of highly infected aerosols and the consequent dispersion of potentially contaminated particles in the air. Finally, to limit the spread of Covid-19 as much as possible, anyone should wear a surgical mask, so that an infected person cannot contaminate the surrounding environment and people nearby.

CLINICAL SIGNIFICANCE

This work highlights the characteristics of surgical masks and oral respirators, providing practical indications on the most suitable devices for protection from Covid-19 infection.

KEY WORDS

- Surgical masks
- Respirators
- Aerosol
- Crossed infections
- Covid-19

1. INTRODUZIONE

L'estrema complessità del microbioma orale, associata a variazioni di temperatura, umidità e presenza costante di substrati metabolici, favorisce la proliferazione batterica^[1], virale e fungina, nonché la propagazione verso l'esterno – quindi anche verso cavità nasali, tracheo-bronchiali e apparato gastro-enterico – sia degli operatori sanitari che dei pazienti^[2]. Va rilevato come negli ultimi anni l'odontoiatria abbia ampliato il suo campo operativo con procedure chirurgiche sempre più invasive e sofisticate che si svolgono a una distanza chirurgo-paziente od odontoiatra-paziente veramente minimale, al di sotto dei 45 cm e con un contatto che viene definito "intimo"^[3].

L'utilizzo quindi di una turbina o di uno strumento ultrasonico va a creare una sospensione di particelle di vario diametro (0,3-50 µm) che presentano un serio rischio infettivo per le cavità nasali e tracheo-bronchiali^[4,5]. Questa deposizione di particelle, infette e non, avviene su differenti livelli a seconda delle loro dimensioni, dove le più grosse vengono fermate nelle cavità nasali, mentre le più piccole finiscono invece negli alveoli polmonari^[6]. Va ricordato che queste particelle aerosoliche hanno un proprio movimento, anche di alcuni metri, in parte causato dallo spostamento di masse d'aria e in parte dai moti browniani prodotti dall'urto delle particelle aerosoliche contro quelle gassose^[7]. Un gruppo di ricerca indiano nel 2015 ha mostrato come la più alta contaminazione da aerosol si riscontri entro i 60 cm dalla testa del paziente, principalmente nell'area occupata dall'assistente alla poltrona seguita poi da quella dell'operatore. I siti risultati più contaminati sono stati il braccio destro dell'operatore e quello sinistro dell'assistente, la superficie della mascherina e le zone intorno a

naso e occhi. È stato anche calcolato che la nube di aerosol generata dall'utilizzo di un ablatore ultrasonico rimane sospesa nella zona operativa per circa 30 minuti dopo il trattamento^[5].

In un nostro studio svolto seguendo criteri di valutazione ospedalieri, è stato riscontrato come la qualità dell'aria in un ambulatorio odontoiatrico dove era stato trattato un solo paziente diventasse pessima durante la procedura aerosolica, nonostante la presenza di un'aspirazione chirurgica con aspiratore da 3,2 mm di diametro e una forza di aspirazione di 75 l/min, e si mantenesse mediocre per ore dopo la prestazione odontoiatrica, per poi migliorare lentamente^[8].

Va inoltre ricordato che le particelle nebulizzate sono costituite per il 75% da microrganismi e virus, mentre il resto può essere costituito da dentina, smalto, residui ematici, cellule epiteliali, acido ortofosforico, condizionatori della dentina, acqua, saliva, pus e qualsiasi altro materiale organico e inorganico sia venuto a contatto con lo strumento rotante^[6].

È quindi estremamente importante diminuire la quantità di aerosol e ciò può essere fatto mediante un'aspirazione ottimale, una buona ventilazione della stanza e con una filtrazione dell'aria stessa^[9]. Dal momento però che la nube aerosolica persiste continuativamente in uno studio odontoiatrico dove pazienti e procedure si susseguono e si sovrappongono nell'arco di una giornata, a queste procedure va sempre associato l'utilizzo di protezioni individuali tra le quali primeggia la mascherina oro-nasale.

Le mascherine furono inizialmente introdotte in ambito chirurgico da Von Mikulicz-Radecki e Flugge nel 1897 per proteggere il paziente da infezioni post-operatorie a provenienza dal medico chirurgo. Queste prime mascherine erano

semplici fogli di garza sovrapposti, di cotone o di lino, che potevano essere sterilizzati più volte in acqua bollente^[9].

L'introduzione in ambito odontoiatrico di strumenti ad alta velocità e di dispositivi ultrasonici e pulitori al bicarbonato non hanno purtroppo creato nella maggioranza degli operatori la consapevolezza dell'inquinamento *tout court*, sia diretto che indiretto, ematico, salivare e aerosolico come ci si sarebbe aspettato. Questo probabilmente è dovuto alla presunzione che il corredo farmacologico disponibile e il miglioramento delle condizioni socio-economiche fossero efficaci nel controllo delle infezioni.

Una prima grossa spinta alla ricerca scientifica nel campo dei dispositivi medici di protezione individuale si è avuta negli anni Ottanta con la propagazione dell'HIV, che ha "costretto" all'utilizzo di mascherine di tipo chirurgico come presidio medico ma anche specialmente all'utilizzo routinario di guanti che, all'inizio degli anni Novanta, erano usati solo dal 65% degli odontoiatri italiani^[10,11].

L'evoluzione delle mascherine è poi proseguita nel tempo fino a raggiungere un miglioramento della capacità filtrante, con più strati protettivi in garza, carta o cotone, fino alla creazione delle mascherine monouso, costruite con materiali sintetici quali fibre di vetro, poliestere e propilene^[12].

Le numerose ricerche che hanno analizzato l'efficacia filtrante delle mascherine oro-nasali a uso chirurgico hanno portato a una serie di dati difficilmente paragonabili tra loro, con un *range* di valori di efficacia di filtrazione riscontrati variabili dal 20 al 96%^[13]. Si può comunque sintetizzare che le mascherine di carta e garza presentassero un potere filtrante dal 20 al 30%, quelle in fibra di vetro e propilene di circa il 98%, mentre le maschere in poliestere variassero tra il 30 e il 98%^[14].

Oggetto di questo contributo è di chiarire quali siano i criteri di costruzione di una mascherina, sia come dispositivo medico che come dispositivo di protezione individuale, di illustrare le differenze tra mascherine e respiratori orali e quindi di fornire a odontoiatri e medici un supporto pratico per proteggersi e proteggere i propri pazienti, scegliendo il dispositivo adatto alla situazione clinica in essere.

2. MATERIALI E METODI

Questo contributo è il risultato di una revisione della letteratura nazionale e internazionale relativa a mascherine e respiratori. Sono stati utilizzati i database PubMed, Scopus e Web of Science per ricercare pubblicazioni inerenti a mascherine, respiratori e al loro utilizzo durante la pandemia da Covid-19. Le parole chiave per l'identificazione degli articoli sono state: mascherine, mascherine chirurgiche, respiratori orali, filtranti facciali, FFP, Covid-19, Sars-CoV-2, infezioni crociate, trasmissione aerea dell'infezione e aerosol. Sono stati inclusi in questo lavoro gli articoli in lingua inglese e in lingua italiana con abstract in inglese. Sono state utilizzate anche le citazioni bibliografiche degli articoli selezionati che sono state ritenute rilevanti.

Caratteristiche di una mascherina chirurgica

Occorre per prima cosa fare chiarezza sulla terminologia relativa alle mascherine, in quanto oggi giorno la confusione regna sovrana anche e specialmente fra medici e odontoiatri. I termini che correttamente dovrebbero essere usati sono: mascherine chirurgiche e respiratori orali o respiratori facciali filtranti.

Le mascherine chirurgiche, create originariamente per proteggere il solo pazien-

te dall'operatore, non hanno la capacità filtrante dei respiratori ma hanno comunque un proprio potere filtrante in entrambi i sensi: minore capacità filtrante in ingresso (dall'esterno all'interno) e maggiore in uscita (dall'interno all'esterno). Va posta comunque sempre particolare attenzione su questo potere filtrante in quanto vi sono ovvie differenze tra il filtrare particelle con diametro di 0,1 µm, di 0,5 µm e batteri caratterizzati da dimensioni differenti. Preliminarmente alla scelta di una tipologia di mascherina quindi va sempre necessariamente verificata la scheda tecnica, controllando il potere di filtrazione di batteri e particolato dichiarato (**tab. I**). Per essere efficace come barriera, una mascherina chirurgica deve avere una capacità di filtrazione almeno del 95% nei confronti di particelle con diametro di

3,5 µm. Questo significa che non sono comunque adatte a trattenere virus e particelle più piccole, nonostante sia stata comunque dimostrata una certa loro efficacia in tal senso^[15-18].

Questa tipologia di mascherina dovrebbe sempre aderire confortevolmente al volto, non lasciare spazio al passaggio di aria, soprattutto ai lati (come riscontrato invece nelle mascherine rettangolari che presentano uno scarso adattamento al viso) (**figg. 1a, b**), non toccare labbra o narici, non irritare la pelle, permettere un'agevole respirazione, non avere odori percepibili e non causare appannamento di occhiali.

La normativa europea EN 14683:2005 definisce le mascherine chirurgiche come dei Dispositivi Medici (DM) che possono essere costituiti da 3 o 4 strati di

Tab. I Esempi di schede tecniche di una mascherina chirurgica e di un respiratore

Mascherina chirurgica a conchiglia	Respiratore FFP2
Bassa capacità filtrante	Altissima capacità filtrante
BFE = 98,7% a 4,2 µm	PFE = 99,9% a 0,1 µm
<ul style="list-style-type: none"> - Barriera resistente agli spruzzi - Bordi morbidi per prevenire irritazioni - Nasello morbido e flessibile - Indicata per brevi procedure senza produzione di fluidi, spray o aerosol 	<ul style="list-style-type: none"> - Rispondente alle direttive EN 149:2001 - Rispondente alle linee guida per il controllo dell'esposizione da tubercolosi - Resistenza alla penetrazione mediante sangue sintetico: 160 mmHg - Nasello morbido e flessibile - Strati interni ed esterni resistenti ai fluidi - Protezione per il mento



Figg. 1a, b Esempio di mascherina chirurgica rettangolare in cui si può notare la mancanza di un efficace sistema di adesione laterale al volto

tessuto-non-tessuto (TNT). Il primo, quello esterno (di solito colorato in verde o azzurro per non riflettere la luce delle lampade), con proprietà idrorepellente ma non impermeabile, contribuisce a proteggere da sangue e altri materiali potenzialmente infetti; lo strato intermedio, che determina la qualità della mascherina, è realizzato in microfibra a carica elettrostatica per catturare le micro-particelle ispirate, mentre lo strato interno antimacerante è soffice e assorbente per tamponare l'umidità del respiro e offrire un contatto confortevole con la cute^[19]. In aggiunta a questi tre strati, vengono spesso applicate sulla parte superiore una striscia metallica o di poliuretano per poter ottenere un perfetto adattamento (ma non un sigillo) a livello del naso e una striscia di polietilene che, avendo capacità condensante al vapore acqueo, non permette l'appannamento degli occhiali. La coesione di tutti questi strati viene effettuata a mezzo di collanti chimici, di termosaldatura o di cucitura.

Le mascherine chirurgiche di forma rettangolare (*Ear-loop Face Mask*) si agganciano ai padiglioni auricolari tramite elastici piatti o in TNT anallergico soffice, per prevenire tensioni e infiammazioni^[15], mentre le mascherine "a conchiglia" (*Molded Face Mask*) sono tenute ferme da un elastico che si appoggia alla nuca (**fig. 2**). Il TNT è un prodotto industriale simile a un tessuto ma privo di una trama di tessitura e ottenuto tramite un polimero che viene fuso (*spunbonded*), forato e pressato per migliorarne la morbidezza e renderlo molto sottile. Il TNT a uso medicale è sottoposto poi a specifiche lavorazioni quali il consolidamento delle fibre che permettono una significativa protezione dalla carica batterica. Questo processo consiste nella totale eliminazione di fibre non coese e nella pulitura del materiale da particelle estranee con un risultato di elevata refrattarietà alla penetrazione batterica^[19,20]. Un TNT ideale deve presentare quindi idrorepellenza, resistenza a basse ed elevate temperature, morbidezza e assenza di abrasività^[21].

Le indicazioni di utilizzo delle mascherine chirurgiche sono molteplici e il loro impiego è consigliato a tutti coloro che lavorano in ambiente sanitario come semplice barriera fisica per esami clinici o per procedure che non producano quantitativi di aerosol e di fluidi. In questo particolare momento storico poi, chiunque dovrebbe indossare una mascherina chirurgica, in modo tale che un soggetto infetto, a maggior ragione se asintomatico, non possa contaminare l'ambiente circostante e le persone vicine mediante un'esalazione infetta.

Caratteristiche di un respiratore

I respiratori antipolvere, o facciali filtranti anti particolato (FFP - *Filtering Face Piece*) (**fig. 3**) presentano una superiorità protettiva rispetto alle mascherine chirurgiche perché creati e testati appositamente per ottenere una protezione massima nelle due direzioni respiratorie (**tab. II**).

I respiratori possiedono un'ottima aderenza al volto ottenuta mediante un vero e proprio sigillo oro-nasale (**fig. 4**), fattore questo che manca nelle mascherine chirurgiche, e provvedono a una protezione a due vie, purché non siano dotati di valvola di espirazione.

In un nostro studio eseguito su manichini esposti ad aerosol con tempi e forza inspiratoria variabili, è stato evidenziato come la superiorità protettiva dei FFP2, peraltro sempre presente, si concretizzava con maggiore evidenza nelle condizioni in cui i presidi testati erano sottoposti a condizioni più estreme^[15]. Tali dispositivi presentano sempre un doppio elastico ed eventualmente anche un bordo in schiuma espansa (PVC) per un'ideale adesione al volto.

I respiratori possono ulteriormente essere suddivisi tra quelli con filtro-valvola e quelli senza filtro-valvola (**figg. 5a, b**). I respiratori con valvola rendono la respi-

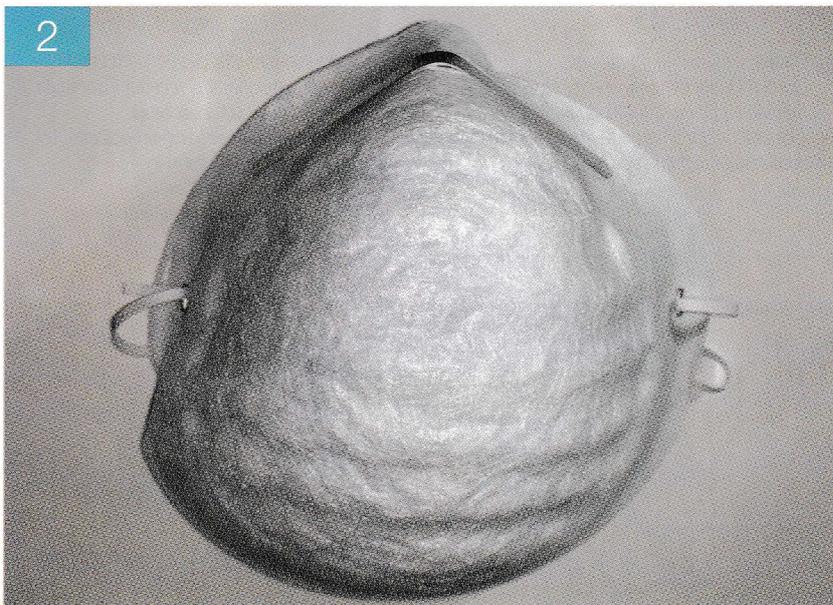


Fig. 2 Esempio di mascherina chirurgica "a conchiglia". Si può notare come questa forma presenti una buona capacità di adattamento all'anatomia del terzo inferiore del viso



Fig. 3 Esempio di respiratore FFP2, creato e testato per la tubercolosi, prodotto all'estero ma conforme alle normative europee e marcato CE

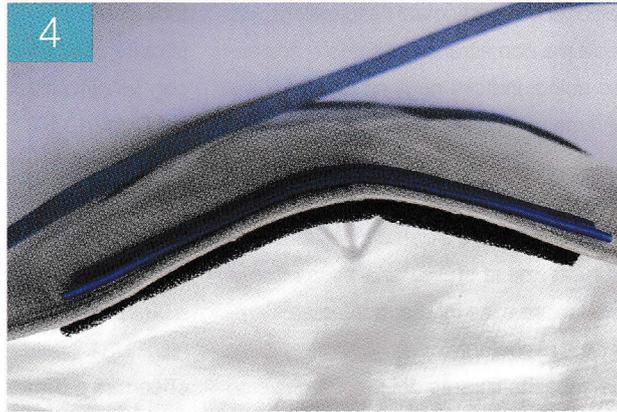
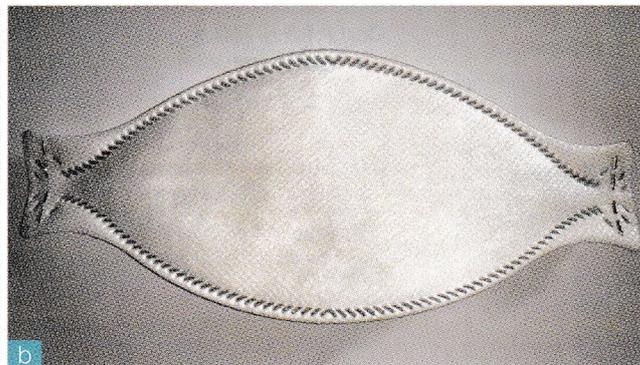
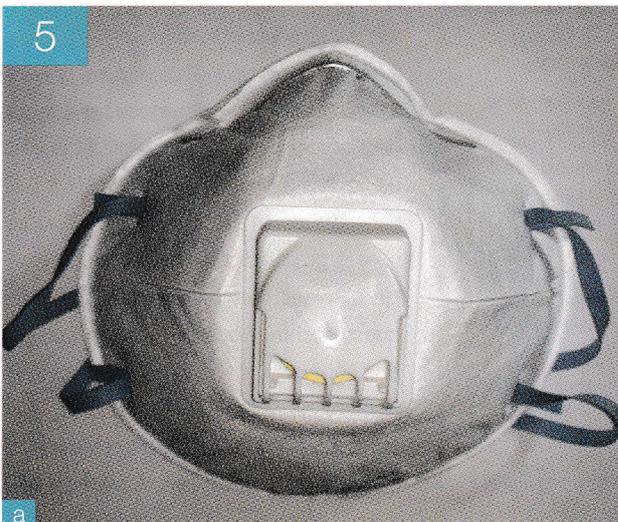


Fig. 4 Particolare a livello della chiusura nasale di un respiratore FFP2: presenza all'esterno di una lamina semi-rigida regolabile in materiale sintetico e, all'interno, di un nasello in schiuma poliuretana espansa. I respiratori possiedono un'ottima adesione al volto ottenuta mediante un vero e proprio sigillo oro-nasale

Tab. II Differenze tra mascherine chirurgiche e respiratori orali

	Mascherina chirurgica	Respiratore orale
Indicazioni d'uso	Idrorepellente non impermeabile. Protegge da particelle di grosse dimensioni, schizzi o spruzzi. Protegge il paziente dalle esalazioni di chi la indossa	Riduce l'esposizione di chi la indossa nei confronti di aerosol costituiti da piccole e grandi particelle
Adesione al volto	Scarsa adesione	Intima adesione
Capacità di filtrazione	Non protegge chi la indossa dall'inalazione di piccole particelle e non viene considerata una protezione respiratoria	Fornisce una filtrazione del 95% almeno delle particelle di qualsiasi dimensioni
Limitazioni di utilizzo	Monouso. Da sostituire alla fine di ogni procedura/paziente	Utilizzabile per un intero turno lavorativo. Da sostituire in caso di danneggiamento, adesione al volto insufficiente, respirazione difficoltosa e contaminazione diretta con fluidi, sangue o esalazioni infette



Figg. 5a, b Esempio di respiratore FFP2 con filtro-valvola (a); esempio di respiratore FFP2 senza filtro-valvola (b)

razione, e in particolare l'espiazione, più facili ma non filtrano l'espiazione e non sono quindi indicati negli ambienti sanitari^[17] ma in ambienti lavorativi con polveri quali i cantieri edili. Se è vero che la presenza di una valvola è in grado di filtrare l'aria in entrata, è altrettanto lecito porsi il dubbio che la stessa aria possa anche fuoriuscire e, se infetta, contagiare l'ambiente circostante.

La capacità filtrante dei respiratori verso particelle aero-disperse è da ritenersi efficace anche verso il rischio biologico. Anche i batteri e i virus infatti sono considerabili particelle e, in quanto tali, possono essere filtrate dai filtri per polveri con la stessa efficacia delle particelle non biologiche aventi le stesse caratteristiche fisiche^[22]. La normativa europea prevede due differenti standard classificativi per i respiratori ed entrambi rientrano tra gli standard riconosciuti dal CEN (Comitato Europeo di Normazione). La EN 149:2001 prevede tre diverse classi di protezione a crescente efficienza filtrante verso polveri con granulometria compresa tra 0,02 e 2 µ. Vengono in-

fatti identificati i FFP1 con un'efficienza filtrante totale minima dell'80%, i FFP2 con un'efficienza filtrante totale minima del 94% e i FFP3 con un'efficienza filtrante totale minima del 99%. La normativa europea EN 143:2007, invece, suddivide i respiratori in P1/P2/P3 (con efficienza, rispettivamente, dell'80%, 94% e 99,95%).

Negli USA invece, i respiratori standard a copertura oro-nasale vengono classificati come: N95 (con capacità filtrante minima del 95%), N99 (capacità filtrante minima del 99%) e N100 (capacità filtrante minima del 99,97%). Gli standard di questa classificazione sono stati stabiliti dal *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), facente parte del *Center of Disease Control* (CDC).

Da un confronto tra classificazione europea e americana, si può notare l'equivalenza dell'N95 con il FFP2 e il P2 (tab. III). In Cina, infine, viene utilizzata un'ulteriore classificazione, nella quale il KN95 equivale al N95 americano e agli FFP2/P2 europei e il KN99 equivale al N99 e agli FFP3/P3.

Qual è la durata di utilizzo di un respiratore?

Tali DPI, a differenza delle mascherine chirurgiche, hanno una vita protettiva molto lunga e, se correttamente gestiti, possono essere utilizzati per più turni lavorativi^[23].

Una ricerca interna promossa da un docente dell'Università di Chicago^[24] ha mostrato come un utilizzo consecutivo per 11 giorni dello stesso respiratore in una città altamente inquinata (Pechino, Cina) causi una perdita della capacità filtrante solo dell'1,4%. Questo dato sembrerebbe indicare che il respiratore possa essere utilizzato per più giorni. Va comunque segnalato che sui respiratori deve sempre essere presente la sigla R (riutilizzabile) o NR (utilizzabile per un solo turno di lavoro).

Test di sicurezza Efficienza di filtrazione batterica (BFE)

Il test BFE (*Bacterial Filtration Efficacy* o efficienza di filtrazione batterica), espresso in percentuale, è indicativo di quanto la mascherina o il respiratore rappresentino una barriera efficace ed efficiente per l'operatore nei confronti di un aerosol batterico.

Il test, compiuto *in vitro* mediante la creazione di un aerosol di goccioline di circa 3 µm contenenti *Staphylococcus aureus*, permette di valutare l'efficienza filtrante in uscita fino a un massimo del 99,9%^[19]. È richiesto almeno il 95% di BFE per ottenere il grado di mascherina chirurgica. Un altro test per la BFE, una volta frequentemente utilizzato ma oggi non più presente negli standard UE, è il metodo di Greene&Vesley modificato^[25]. In questo test *in vivo* la mascherina veniva indossata da un soggetto durante la pronuncia di parole in tempi e modi definiti.

Tab. III Confronto tra classificazione europea e americana

Respiratore	Capacità di filtraggio (rimozione di x% delle particelle aerosoliche ≥0,3 µm di diametro)
FFP1 e P1*	Almeno 80%. Protezione da polveri atossiche e non fibrogene con concentrazioni fino a 4 volte il valore limite soglia
FFP2 e P2*	Almeno 94%. Protezione da polveri, aerosol e liquidi con concentrazioni fino a 10 volte il valore limite soglia
N95**	Almeno 95%. Efficienza di filtrazione nei confronti di solidi, liquidi e aerosol non contenenti oli
N99** e FFP3*	Almeno 99%. Protezione da polveri, fumo, aerosol e liquidi tossici con concentrazioni fino a 30 volte il valore limite soglia (TLV)
P3*	Almeno 99,95%
N100**	Almeno 99,97%

* Standard europeo EN 149:2001+A1:2009

** National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) highest rated filtration efficiency

Le particelle sfuggite al controllo della mascherina venivano raccolte da uno specifico campionatore, impiantate su piastre agar e si calcolava l'efficienza filtrante confrontando i risultati ottenuti con i valori ricavati dal medesimo soggetto privo di mascherina. Questo test, nonostante presentasse limiti evidenti, si dimostrava una valida indagine sulla valutazione dell'adattamento al volto della mascherina e non solo del suo materiale costituente. È infatti importante tenere presente che alla base dei limiti protettivi delle mascherine non vi sono esclusivamente variabili legate ai materiali costituenti ma anche alla loro capacità di adattamento all'anatomia del volto. A tale proposito, tra le mascherine chirurgiche quelle comunemente denominate "a conchiglia" possono ovviare a questo limite poiché presentano una forma che segue l'anatomia del terzo inferiore del viso^[15] (fig. 2); pertanto, quelle con tale forma sono considerate le più indicate nella protezione delle vie aeree respiratorie di chi le indossa.

Il BFE viene testato per una grandezza di 3 micron per i respiratori e di 4,5 micron per le mascherine^[26], quindi risulta di fondamentale importanza richiedere e leggere la scheda tecnica per capire la reale protezione ed evitare una scelta fuorviante rispetto alla necessità clinica.

Efficienza di filtrazione del particolato (PFE)

Il test PFE (*Particle Filtration Efficiency* o efficienza di filtrazione di particolato), espresso in percentuale, è indicativo di quanto la mascherina o il respiratore rappresentino una barriera efficace ed efficiente per l'operatore nei confronti di un particolato. Questo test può essere eseguito utilizzando una dimensione delle particelle da 0,1 a 5,0 μm ^[26,27], quindi

quando si confrontano i risultati dei test è importante prestare attenzione alla dimensione delle particelle utilizzate, poiché l'uso di una dimensione delle particelle più grande produrrà un indice di PFE fuorviante.

Siccome il PFE varia a seconda della dimensione testata, un valore del 95% ottenuto con un filtraggio di 0,1 μm è diverso da un 95% ottenuto con un filtraggio di 4,2 μm . È quindi di fondamentale importanza scegliere respiratori i cui risultati dei test di filtraggio siano stati ottenuti utilizzando particelle di 0,1 μm e non superiori. L'importanza primaria del PFE è data dal fatto che circa il 75% delle particelle aerosoliche sono contaminate e quindi un buon potere filtrante del particolato si concretizza in un buon potere filtrante anche batterico^[6].

Per ultimo, va sottolineata l'importanza di acquisire materiale protettivo proveniente da ditte conosciute, con test effettuati realmente e non contraffatti.

Traspirabilità (Delta P)

Qualsiasi dispositivo che interagisca con le vie respiratorie, sia un DM che un FFP, deve portare a un'interferenza minima con i fisiologici atti ventilatori di chi lo indossa. A tale proposito esiste un parametro fisico utile a definire la respirabilità del presidio: la differenza di pressione, espressa come Delta P (ΔP). Il ΔP misura la resistenza del flusso d'aria della mascherina e rappresenta un'oggettiva misura della traspirabilità. Un flusso di aria controllato viene passato attraverso una mascherina e viene determinata la pressione su entrambi i lati di essa. Questa differenza di pressione viene misurata e divisa nell'area di superficie (cm^2) del segmento di mascherina testato. Viene espressa in mm d'acqua su cm^2 e il valore massimo tollerato è 5,0 mm $\text{H}_2\text{O}/\text{cm}^2$ ^[19].

I presidi con un ΔP alto ($>4,0$) sono umidi e possono portare ad affanno dell'operatore. Quelli con un ΔP basso ($<2,0$), invece, permettono un'ottima traspirazione consentendo di lavorare in un fresco comfort, con minima formazione di umidità interna^[19]. Quindi, più il valore ΔP è basso e più la mascherina traspira aria.

Resistenza ai fluidi

La resistenza ai fluidi riflette la capacità della maschera di ridurre al minimo la quantità di fluido che può passare attraverso gli strati esterni fino allo strato interno, a seguito di schizzi o spruzzi. Tutte le mascherine classificate come *fluid resistant* devono soddisfare o superare lo standard ASTM F1862 per resistenza ai fluidi a 80, 120 o 160 mmHg. Qualora il prodotto testato sia in grado di mostrare un'adeguata resistenza alla penetrazione di sangue sintetico con pressione di almeno 80 mmHg, gli verrà conferita una resistenza ai fluidi bassa. Le analisi con sangue sintetico a pressioni pari a 120 o 160 mmHg, invece, qualificano la mascherina con resistenza ai fluidi media o alta^[19].

Test dell'inquinamento microbico

Spesso viene sottovalutato l'inquinamento microbico a cui sono soggetti respiratori e mascherine, che a volte possono essere forniti in singole unità, sfusi, presi da contenitori di cui non conosciamo il trattamento e la conservazione nel tempo. Su questo punto la normativa europea EN 14683:2019 stabilisce l'obbligo di esecuzione di un esame microbico del livello di contaminazione totale (*bioburden*) su di un numero minimo di cinque mascherine prese asetticamente dal contenitore (la prima, l'ultima e 3 nel mezzo).

Utilizzo di mascherine e respiratori durante Covid-19

Durante la pandemia da Covid-19, grande attenzione è stata posta sul potere protettivo di differenti mascherine chirurgiche e di diversi respiratori orali.

Va ricordato come i respiratori misurino la loro efficienza su particelle di grandezza uguale o superiore a 0,3 μm , mentre il Sars-CoV-2 ha una grandezza media $< 0,1 \mu\text{m}$ ^[28]. La ragione per cui è stato scelto di prendere come riferimento questa dimensione (0,3 μm) è per il potere penetrante (MPPS - *Most Penetrating Particle Size*) di queste particelle.

Le particelle più piccole di 0,3 μm possiedono infatti un moto browniano che le rende facilmente filtrabili grazie alla loro interazione non lineare con le molecole nell'aria. Tutto ciò fa sì che un filtro efficiente per 0,3 μm generalmente si traduca in un'alta efficienza filtrante anche per le particelle al di sotto di questa grandezza^[29]. Secondo alcuni ricercatori, la grandezza di 0,3 μm è quel valore borderline fra un normale movimento li-

neare e un movimento browniano e quindi questa dimensione è quella più difficile da catturare nei filtri^[30]. Di conseguenza, se si ottiene un'alta efficienza di filtrazione a 0,3 μm questa si traduce anche in un'alta efficienza al di sotto di questa dimensione, grazie appunto al moto browniano che, essendo erratico e caotico, viene a essere ben intercettato dal respiratore.

Ad oggi vi sono ancora pareri estremamente discordanti su quale possa essere l'indicazione corretta sulla tipologia di respiratore da utilizzare per prevenire il contagio da Sars-CoV-2.

I FFP3 senza filtro-valvola sembrano certamente i dispositivi in grado di fornire la protezione più alta a operatore e paziente ma proprio per la loro alta capacità di filtraggio rendono difficile la respirazione se portati per lungo tempo continuamente. Per migliorare la capacità respiratoria, e quindi per ricercare un maggior comfort, è ipotizzabile l'utilizzo di un respiratore ad alto filtraggio (FFP2 o FFP3) ma con valvola di esalazione, in associazione a una mascherina chirurgica da applicarvi sopra, in modo da ridurre le eventuali esalazioni in uscita derivanti dalla valvola.

Le mascherine chirurgiche rimangono comunque dei validi presidi per tutte quelle prestazioni che non comportano creazione di aerosol altamente infetti e conseguente dispersione di particelle potenzialmente contaminate nell'aria^[16]. Inoltre, per limitare il più possibile la diffusione del Covid-19 chiunque dovrebbe indossare una mascherina chirurgica, in modo tale che un soggetto infetto non possa contaminare l'ambiente circostante e le persone vicine.

Un'ulteriore possibilità di protezione concessa agli operatori sanitari, in aggiunta ai DPI precedentemente trattati,

è rappresentata dalla combinazione di casco ventilato con visiera e cappuccio. Questo dispositivo, oltre che proteggere chi lo indossa, presenta una doppia ventilazione che permette il contemporaneo ingresso nel casco di aria fresca filtrata e la fuoriuscita dell'aria consumata. Questo ricambio di aria, eseguito con una velocità pari a 40 volte al minuto, permette di respirare sempre aria filtrata da un filtro multi-strato caricato elettrostaticamente (fig. 6).

Metodiche proposte per la disinfezione del respiratore

Per quanto concerne la possibile disinfezione di mascherine e respiratori, in letteratura non è ancora stato chiarito come si possano trattare senza che perdano la loro capacità filtrante. Mentre il lavaggio con acqua e/o alcol riduce la capacità filtrante delle mascherine^[31], è stato dimostrato che 10 minuti di vaporizzazione siano in grado di uccidere un virus e che la luce ultra-violetta (UV) sia l'unica metodica in grado di uccidere il virus senza danneggiare la capacità filtrante^[32].

La variabile "tempo" gioca un ruolo sicuramente fondamentale in quanto è stato dimostrato come il Sars-CoV-2 sia in grado di resistere al massimo 72 ore (3 giorni) sulla plastica e ancor meno su altre superfici^[33]. Ne consegue che, almeno teoricamente, lo stesso respiratore, se infettato, possa essere utilizzato con sicurezza dopo 3 giorni.

Metodica di utilizzo di un respiratore

Per evitare la contaminazione di un respiratore (ma anche di una mascherina) e di chi lo indossa, è necessario seguire un protocollo rigoroso di applicazione e rimozione (figg. 7, 8).



Fig. 6 Esempio di casco dotato di visiera e cappuccio. La doppia ventola all'interno del casco permette l'ingresso di aria fresca filtrata e la fuoriuscita dell'aria respirata ricca di CO₂



Fig. 7 Protocollo step-by-step di applicazione di un respiratore



Fig. 8 Protocollo step-by-step di rimozione di un respiratore

3. CONCLUSIONI

Tutti i membri del team odontoiatrico hanno l'importante compito di proteggersi dalle infezioni crociate, tenendo presente come la bocca sia un importante vettore di molteplici tipologie di infezione, non tutte conosciute. Va fornito quindi al personale un addestramento specifico basato sui protocolli collaudati per il controllo delle infezioni.

In definitiva, la mascherina chirurgica e il respiratore sono presidi individuali che soddisfano standard specifici ma il cui utilizzo va sempre abbinato ad altri DPI quali schermi e occhiali protettivi, copricapo, guanti, camici monouso e naturalmente a un'attenta igiene personale. Ancora una volta si ricorda l'importanza di esaminare la scheda tecnica riferita ai dispositivi utilizzati, al fine di controllare la necessaria stretta aderenza ai protocolli di riferimento.

Per ultimo va ricordato come l'approccio al paziente odontoiatrico debba essere ragionato e tecnico e non paranoico e ossessivo con l'annullamento di ogni razionalità, ricordandosi anche e soprattutto che "il rigore scientifico può essere interpretato in modo ambiguo. Quando uno scienziato dice, per esempio, che esiste una possibilità teorica di infezione attraverso la saliva o nel corso di una seduta dal dentista, egli sa che questo rischio, anche se esiste, è molto basso e insorge soltanto in condizioni precise. Ma molte persone si ricorderanno soltanto proprio di questo rischio" (Luc Montagnier, *L'uomo contro il virus*, Ed. Giunti Editori, 1995). ■

CONFLITTO DI INTERESSI

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi.

FINANZIAMENTI ALLO STUDIO

Gli autori dichiarano di non avere ricevuto nessun finanziamento per il presente studio.

CONSENSO INFORMATO

Gli autori dichiarano che è stato ottenuto il consenso informato per la pubblicazione delle immagini.

BIBLIOGRAFIA

1. **Checchi L, Gatto MR, Checchi V, Carinci F.** Bacteria prevalence in a large Italian population sample: a clinical and microbiological study. *J Biol Regul Homeost Agents* 2016;30(S1):199-208.
2. **Volgenant CMC, de Soet JJ.** Cross-transmission in the dental office: does this make you ill? *Curr Oral Health Rep* 2018;5:221-8.
3. **Harfst SA.** Personal barrier protection. *Dent Clin North Am* 1991;35:357-66.
4. **Checchi L, D'Achille C, Pelliccioni GA, De Luca M.** Dossier: Mascherine chirurgiche - protezione o illusione? *Dental Cadmos* 1992;10:15-36.
5. **Veena HR, Mahantesha S, Joseph PA, Patil SR, Patil SH.** Dissemination of aerosol and splatter during ultrasonic scaling: a pilot study. *J Infect Public Health* 2015;8:260-5.
6. **Micik RE, Miller RL, Mazzarella MA, Ryge G.** Studies on dental aerobiology. I. Bacterial aerosols generated during dental procedures. *J Dent Res* 1969;48:49-56.
7. **Checchi L, Montebugnoli L, Samaritani S.** Contamination of the turbine air chamber: a risk of cross infection. *J Clin Periodontol* 1998;25:607-11.
8. **Legnani P, Checchi L, Pelliccioni GA, D'Achille C.** Atmospheric contamination during dental procedures. *Quint Int* 1994;25:435-9.
9. **Bynum WF, Porter R.** Companion Encyclopedia of the History of Medicine. London (UK): Routledge Ed., 1993.
10. **Checchi L, D'Achille C, Conti S, Pelliccioni GA.** Uso dei guanti in odontoiatria: valutazioni statistiche. *Dental Cadmos* 1991;19:60-8.
11. **Checchi L, D'Achille C, Conti S.** Evaluation of the permeability of latex gloves for use in dental practice. *Quint Int* 1991;12:949-59.
12. **Hogan B, Samaranayake LP.** The surgical mask unmasked: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;70:34-6.
13. **Dineen P.** Microbial filtration by surgical masks. *Surg Gynecol Obstet* 1971 Nov;133:812-4.
14. **Bailey R, Giglio P, Blechman H, Nunez C.** Effectiveness of disposable face masks in preventing cross contamination during dental procedures. *J Dent Res* 1968;47:1062-5.
15. **Checchi L, Montevicchi M, Moreschi A, Graziosi F, Taddei P, Violante FS.** Efficacy of three face masks in preventing inhalation of airborne contaminants in dental practice. *JADA* 2005;136:877-82.
16. **Loeb M, Dafoe N, Mahony J, John M, Sarabia A et al.** Surgical mask vs N95 respirator for preventing influenza among health care workers: a randomized trial. *JAMA* 2009 Nov 4;302(17):1865-71.
17. **Radonovich LJ Jr, Simberkoff MS, Bessesen MT, Brown AC, Cummings DAT, Gaydos CA et al.** N95 respirators vs medical masks for preventing influenza among health care personnel: a randomized clinical trial. *JAMA* 2019;322:824-33.
18. **Consolo U, Bencivenni D, Checchi V, Bellini P.** COVID-19 and dentistry: a new challenge. *Dental Cadmos* 2020;88:344-52.
19. **Montevicchi M, Checchi V, Felice P, Checchi L.** Management rules of the dental practice: individual protection devices. *Dental Cadmos* 2012;80:247-63.
20. **Rutala WA, Weber DJ.** A review of single-use and reusable gowns and drapes in health care. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2001 Apr;22:248-57.
21. **Leonas KK, Jinkins RS.** The relationship of selected fabric characteristics and the barrier effectiveness of surgical gown fabrics. *Am J Infect Control* 1997 Feb;25:16-23.
22. **Jones RM, Brosseau LM.** Aerosol transmission of infectious disease. *J Occup Environ Med* 2015;57:501-8.
23. **Jensen PA, Lambert LA, Iademarco MF, Ridzon R.** Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health-care settings, 2005. *MMWR Recomm Rep* 2005;54(RR-17):1-141.
24. <https://smartairfilters.com/en/blog/how-long-air-pollution-masks-last-lifespan-data>
25. **Greene VW, Vesley D.** Method of test for evaluating effectiveness of surgical masks. *Journal of Bacteriology* 1962;83:663-7.
26. **Rengasamy S, Shaffer R, Williams B, Smit S.** A comparison of facemask and respirator filtration test methods. *J Occup Environ Hyg* 2017;14(2):92-103.
27. **Vanangamudi A, Hamzah S, Singh G.** Synthesis of hybrid hydrophobic composite air filtration membranes for antibacterial activity and chemical detoxification with high particulate filtration efficiency (PFE). *Chem Eng J* 2015;260:801-8.
28. **Checchi V, Bellini P, Bencivenni D, Consolo U.** COVID-19 - related aspects: a literature overview. *Int Dent J* 2020 (Jul 5, Online ahead of print). Doi: 10.1111/idj.12601.
29. **Gubbiotti A, Chinappi M, Casciola CM.** Confinement effects on the dynamics of a rigid particle in a nanochannel. *Phys Rev E* 2019;100(5-1):053307.
30. **Gustafsson O, Gustafsson S, Manukyan L, Mhramyan A.** Significance of brownian motion for nanoparticle and virus capture in nanocellulose-based filter paper. *Membranes (Basel)* 2018 Oct 5;8(4):90.
31. **Verbeek JH, Rajamaki B, Ijaz S, Tikka C, Ruotsalainen JH et al.** Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. *Cochrane Database Syst Rev* 2019 Jul 1;7(7):CD011621.
32. **Lindsley WG, Martin SB Jr, Thewlis RE, Sarkisian K, Nwoko JO, Mead KR, Noti JD.** Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *J Occup Environ Hyg* 2015;12:509-17.
33. **van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN et al.** Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020;382:1564-7.