



A.A. 2020-2021

Scuola del Design  
Corso di Laurea Magistrale  
in Design & Engineering

# DIVER

*running respirator*

Tesi di laurea di:

Andrea Bertazzoni

Relatore:

Innocenzo Rifino

Azienda partner:

Narvalo srl

Tesi di laurea magistrale in Design & Engineering - Politecnico di Milano - A.A. 2020-2021

DIVER Running Respirator

Andrea Bertazzoni



A.A . 2020-2021

Scuola del Design  
Corso di Laurea Magistrale  
in Design & Engineering

# DIVER

*running respirator*

**Tesi di laurea di:**

Andrea Bertazzoni

**Relatore:**

Innocenzo Rifino

**Azienda partner:**

Narvalo srl

# INDICE

1.0 Introduzione	7	4.0 Indagine sugli utenti	55
1.1 Abstract	8	4.2 Le abitudini dei runner	57
1.2 Percorso progettuale	10	4.3 I bisogni del runner	59
1.2.1 Concept iniziale	10	5.0 Progettazione	63
1.2.2 Prototipo 1.0	12	5.1 Brief di progetto	65
1.2.3 Progetto di tesi	13	5.2 Il nuovo concept	66
2.0 Running e inquinamento atmosferico	15	5.2.1 Il purificatore d'aria	72
2.1 Il running urbano	16	5.2.2 Gilet e maschera	74
2.2 Inquinamento atmosferico urbano	19	5.2.3 Connessioni tra le parti e assemblaggio	78
2.2.1 Categorie e origine degli inquinanti	22	5.3 Selezione componenti purificatore d'aria	80
2.2.2 Normative e limiti	26	5.3.1 Il filtro	80
2.2.3 Rischi per la salute	28	5.3.2 Il ventilatore	81
2.3 Sforzo fisico e smog	30	5.3.3 La batteria	84
2.3.1 Funzionalità respiratoria	30	5.3.3 La scheda elettronica integrata	85
2.3.1.1 Anatomia e meccanica della respirazione	31	5.4 Selezione tessuti di gilet e maschera	86
2.3.1.2 Architettura della respirazione	33	5.5 User journey e funzionalità	88
2.3.1.4 Semeiotica dell'apparato respiratorio	35	6.0 Prototipazione	91
2.4 Rischi per la salute	36	6.1 Realizzazione del prototipo	92
2.4.1 Effetti documentati nei runner	37	6.1.1 Realizzazione del respiratore	93
2.4.2 Comportamenti virtuosi	38	6.1.1.1 Componenti elettronici	93
3.0 Dispositivi di protezione respiratoria per i runner	41	6.1.1.2 Componenti in plastica	95
3.1 Dispositivi di protezione individuale	42	6.1.2 Realizzazione di gilet e maschera	97
3.2 Dispositivi di protezione utilizzati dai runner	46	6.2 Test del prototipo	98
3.2.1 Mascherine sportive passive	47	6.2.1 User test	98
3.2.2 Correre con la mascherina: considerazioni	49	6.2.2 Misurazione del flusso d'aria	99
3.2.3 Maschere attive	51	6.2.3 Considerazioni sul prototipo	101
3.2.4 Benchmark	52	7.0 Conclusioni	103
		7.1 Partner tecnici	106
		7.2 Ringraziamenti	107
		7.3 Bibliografia e sitografia	109

1.0  
INTRODUZIONE

## 1.1 ABSTRACT

Questa tesi pone le sue basi in un concept di respiratore elettroventilato per i runner, pensato per l'azienda BLS srl, durante un workshop curricolare. L'obiettivo è di illustrare lo sviluppo di tale concept fino alla prototipazione di un dispositivo di protezione efficace, che migliori l'esperienza e la performance nella corsa.

L'inquinamento atmosferico è un problema purtroppo diffuso, specialmente nelle aree urbane densamente popolate, costituendo una minaccia invisibile per la salute di chi vi abita. I runner sono particolarmente esposti ai rischi derivati dall'inalazione delle sostanze inquinanti, dal momento che l'aumento della funzionalità respiratoria sotto sforzo comporta un maggiore assorbimento di particolato.

I dispositivi di protezione delle vie respiratorie esistenti, e anche quelli proposti specificatamente per gli sportivi, si rivelano inadeguati a garantire una appropriata protezione e una respirazione confortevole, risultando d'impaccio durante la corsa.

Il prodotto proposto è un respiratore elettroventilato, e vuole essere una soluzione ai problemi riscontrati durante la ricerca, affrontando le esigenze degli utenti e superando i limiti dei prodotti competitor. Questo risultato è ottenuto garantendo una filtrazione dell'aria certificata, grazie al filtro HEPA prodotto da BLS srl, una respirazione naturale anche in condizione di affanno, grazie alla potente ventola regolabile, e massima libertà nei movimenti.

Il dispositivo è fissato ad un gilet regolabile realizzato in tessuto tecnico, che lo assicura saldamente al corpo, mentre la maschera sul viso e i tubi di collega-

*This thesis is based on a concept of an electro-ventilated respirator for runners, designed for the company BLS srl, during a curricular workshop. The aim is to illustrate the development of this concept up to the prototyping of an effective protective device, which improves the running experience and performance.*

*Air pollution is an unfortunately widespread problem, especially in densely populated urban areas, posing an invisible threat to the health of those who live there. Runners are particularly exposed to the risks of inhaling pollutants, as increased respiratory function under stress leads to increased absorption of particulate matter.*

*The existing respiratory protection devices, and even those proposed specifically for athletes, are inadequate to ensure proper protection and comfortable breathing, resulting in impasse during the race.*

*The proposed product is an electro-ventilated respirator, and wants to be a solution to the problems encountered during research, addressing the needs of users and exceeding the limits of competing products. Such result is obtained ensuring a certified air filtration, thanks to the HEPA filter produced by BLS srl, a natural feel even in conditions of shortness of breath, thanks to the powerful adjustable fan, and maximum freedom of movement.*

*The device is fixed to an adjustable vest made of technical fabric, which secures it firmly to the body, while the mask on the face and the connecting tubes are made of fabric derived from recycled sails.*

mento sono realizzati in tessuto ricavato da vele riciclate. Il prodotto è concepito per inserirsi nell'ecosistema dei prodotti di Narvalo srl, una startup partner del progetto, che realizza una mascherina respiratoria attiva e intelligente per proteggersi dallo smog urbano, connessa ad una app per il monitoraggio della qualità dell'aria. Collegando il dispositivo all'app di Narvalo il runner tiene traccia della propria attività in sinergia con il fitness tracker preferito, con una consapevolezza aggiuntiva della qualità dell'aria circostante in ogni momento, la garanzia di una protezione adeguata, e il massimo comfort.

*The product is designed to fit into the ecosystem of products by Narvalo srl, a startup partner in the project, which makes an active, smart respiratory mask to protect against urban smog, connected to an app for monitoring air quality. By connecting the device to Narvalo's app, the runner keeps track of their activity in synergy with their favorite fitness tracker, with additional awareness of the surrounding air quality at all times, a guarantee of adequate protection, and maximum comfort.*



Figura 1 - podisti si ai blocchi di partenza della gara "Tour du Pays de Vaud" in Champvent, Svizzera. Fonte: Agence France-Presse

## 1.2 PERCORSO PROGETTUALE

### 1.2.1 CONCEPT INIZIALE

Lo spunto da cui trae origine il presente elaborato di tesi è il concept elaborato in gruppo insieme ai colleghi Gabriele Tricella e Cesare Miozzi, nell'ambito del workshop curricolare rivolto agli studenti del corso di Design del Prodotto Industriale, a cui abbiamo partecipato dal 17 al 21 giugno del 2019. Scopo del workshop era elaborare un concept nell'arco di una settimana, per l'azienda BLS srl, azienda italiana di Cormano (MI) dalla vocazione internazionale, specializzata nella progettazione e produzione di dispositivi di sicurezza per la protezione respiratoria e con oltre cinquant'anni di esperienza. Durante la settimana di lavoro i gruppi si sono confrontati con due designer dell'azienda, Simone Pirovano e Davide Parenti, e sono stati accompagnati nel percorso ideativo da un tutor, Ewoud Westerduin, che stava sviluppando in collaborazione con BLS quello che era stato fino a poco tempo prima il suo progetto di tesi, e che era inerente al settore. Il workshop era stato presentato dal professor Venanzio Arquilla, già relatore di tesi di Ewoud, poi collaboratore nello sviluppo ulteriore del progetto di tesi in partnership con l'azienda, e regista della collaborazione tra BLS e la Scuola del Design del Politecnico di Milano. Coordinatore del workshop era il professor Luca Gafforio, vero e proprio mentore nei riguardi degli studenti, che ha presieduto a tutti gli incontri di revisione. Scopo del workshop era realizzare un concept di respiratore, attivo o passivo, da utilizzare in uno tra diversi possibili ambiti, tra i quali i gruppi potevano scegliere: il nostro gruppo ha scelto di progettare un sistema attivo per il contesto urbano. Al termine della settimana, i progetti sono stati presentati all'amministratore delegato dell'azienda, Pierpaolo Zani, nonché ai professori Gafforio e Arquilla, ai fini della valutazione curricolare. Con Gabriele e Cesare abbiamo presentato il nostro concept di un respiratore attivo rivolto ai runner urbani che vogliono proteggersi dall'inquinamento atmosferico quando vanno a correre. Il prodotto era un indumento costituito da una pettorina e da uno scaldacollo da indossare su naso e bocca a mo' di maschera, che incorporava sul petto un piccolo dispositivo che fungesse da respiratore. Il dispositivo conteneva un piccolo ventilatore centrifugo alimentato da una batteria al litio e veniva inserito in una tasca posta sul petto. Tramite un foro comunicante tra la parte interna della tasca e lo scaldacollo, posto in concomitanza del foro di uscita dell'aria del ventilatore, questo soffiava aria dentro lo scaldacollo. Nel punto di ingresso dell'aria nello scaldacollo veniva collegato al dispositivo un filtro, che avrebbe dovuto essere realizzato ad hoc da BLS, e il serraggio tra i due ancorava il sistema all'indumento. L'aria così immessa nello scaldacollo sarebbe stata filtrata e avrebbe gonfiato il tessuto di aria pulita, messa a disposizione del runner che poteva respirare anche in modo affannoso ma senza dover compiere lo sforzo di respirare attraverso un filtro. I componenti erano stati selezionati con una indagine a partire dai dati emersi dalla ricerca preliminare, che avevano evidenziato come un runner arrivasse ad aver bisogno fino a 200L/min di aria in condizioni di sforzo fisico intenso. Pertanto, era stato individuato un ventilatore centrifugo che erogasse il volume d'aria richiesto ed una batteria al litio con uguale voltaggio e che in base all'assorbimento energetico teorico potesse mantenere in funzione la ventola per un'ora, tempo individuato come adeguato alle sessioni di corsa dei runner. Alla prima presentazione ne è seguita una seconda, il 29 ottobre 2019, in occasione della quale i progetti sono stati presentati nuova-

mente, questa volta ad una rappresentanza più estesa dell'azienda, la quale avrebbe votato quelli ritenuti più interessanti. Il responso è stato reso noto a febbraio: il nostro progetto era stato selezionato insieme ad altri due e ci è stato chiesto di realizzare nei mesi successivi un prototipo di quello che fino ad allora era stato solo un concept, per approfondirne e dimostrarne la concreta realizzabilità.



Figura 2

Figura2  
Il concept presentato al workshop curricolare nel giugno 2019, da cui prende avvio questo progetto di tesi.

## 1.2.2 PROTOTIPO 1.0

Il lavoro che è seguito è stato frammentato e discontinuo, e ha visto l'abbandono del progetto da parte di Cesare; tuttavia, è culminato con la consegna a luglio 2020 di un prototipo funzionante, che presentava una maggiore maturità progettuale rispetto al concept iniziale e ne superava numerosi limiti. Il materiale inizialmente pensato per l'indumento, una maglia jersey in lana tecnica, era stata sostituita inizialmente con un cinzato in poliestere, del tipo delle giacche antivento, e poi con dei tessuti tecnici in maglia gentilmente forniti da MITI spa, azienda di Urgnano (BG), specializzata in tessuti tecnici in maglia di alta qualità. Il dispositivo elettronico, sempre posizionato sul petto, aveva assunto dimensioni ben maggiori di quello che si era inizialmente ipotizzato, e il filtro era stato posizionato davanti al punto di aspirazione del ventilatore. Quest'ultimo era il principale responsabile dell'aumento dimensionale del respiratore, perché il ventilatore precedente si era rivelato subito inefficace allo scopo, erogando un flusso d'aria insufficiente a gonfiare la maschera. A seguito di calcoli più approfonditi, si era individuato un ventilatore più potente ma necessariamente di maggiori dimensioni. Anche la batteria era risultata più ingombrante del previsto, ma soprattutto più pesante: volendo trovare un compromesso tra voltaggio, dimensioni e peso che privilegiasse la durata massima della batteria, si era individuato una batteria da drone che aveva voltaggio superiore a quello della ventola, grande coefficiente C-rate, per cui la batteria risultava molto performante, relativamente compatta ma purtroppo dal peso inaspettatamente importante, di 156g. In tutto il dispositivo pesava 487g. Nonostante il dispositivo non fosse assicurato in modo ottimale sul petto, e il tessuto della maschera lasciasse traspirare l'aria immessa troppo velocemente, nel complesso il prodotto era valido ai fini dimostrativi, ed era la prima realizzazione concreta del concept nato più di un anno prima.

Figura 3  
Il prototipo 1.0, sviluppato nell'estate 2020



Figura 3

## 1.2.3 PROGETTO DI TESI

La realizzazione del prototipo mi aveva permesso di acquisire nuove conoscenze di elettronica e di fare la mia prima esperienza di prototipazione di un dispositivo elettronico, ma anche di cimentarmi nei rudimenti della confezione di abiti, aspetto fondamentale del progetto, in cui l'indumento è la parte di maggiore impatto estetico e che ne permette il funzionamento. Il progetto era dichiarato concluso, ma quando ho svolto il mio stage curricolare a partire dal 1° marzo 2021, sei mesi circa dopo la consegna del prototipo, mi sono imbattuto nuovamente in Simone Pirovano di BLS e in Ewoud Westerduin, che intanto aveva creato Narvalo, una startup che realizza una mascherina attiva per proteggersi dall'inquinamento urbano, in collaborazione con BLS. È sorto in me quindi il desiderio di portare avanti l'esperienza che mi aveva entusiasmato, e sviluppare ulteriormente il respiratore. Ho così proposto al professor. Rifino, socio dello studio, di farmi da relatore, e a Narvalo e a BLS di essere partner tecnici nel mio progetto di tesi.

Questa nuova fase del progetto, questa volta portata avanti in solitario, non ha potuto non tener conto dei passaggi precedenti. Abbiamo tuttavia voluto fissare alcuni punti cardine, sui quali costruire i nuovi sviluppi, mettendo in discussione tutto il resto. Le caratteristiche imprescindibili dovevano essere la simbiosi tra dispositivo elettronico e indumento, così da garantire di poter separare la parte di elettronica dal resto, per poterlo lavare dopo l'uso, il filtro sostituibile realizzato da BLS e posizionato prima del ventilatore, vera e propria garanzia di qualità del prodotto, e la batteria ricaricabile. Anche il ventilatore centrifugo è stato inizialmente messo in discussione, ma dopo ulteriori ricerche è stato confermato come la migliore tipologia di ventilatore per l'applicazione richiesta. Per quanto riguarda la parte di indumento, i tessuti tecnici in maglia di MITI spa sono stati confermati per alcune parti, mentre sulla scorta delle prove fatte con il poliestere cinzato, per la maschera si è optato per un tessuto di nylon rip-stop ricavato da vele di barca riciclate.

Dopo una fase di ricerca sullo stato dell'arte dei dispositivi attivi e passivi di protezione delle vie respiratorie attualmente in commercio e rivolti a chi fa attività sportiva, la ricerca si è rivolta agli utenti, con un questionario rivolto ai runner e diffuso ad una platea internazionale sfruttando una piattaforma di social media. La progettazione del nuovo prodotto, coordinata dal professor. Rifino e da Ewoud Westerduin, ha coinvolto Narvalo S.r.l. e BLS S.r.l. in numerose occasioni di confronto su aspetti tecnici e formali, oltre ad avvalersi dell'assistenza di diversi professionisti che si sono resi disponibili a titolo gratuito. Essenziale è stata la realizzazione di un nuovo prototipo funzionante con il quale condurre dei test sul prodotto ma anche di uso dello stesso. Il prototipo, come il precedente, doveva necessariamente restituire un'esperienza realistica dell'uso del prodotto nei suoi elementi fondamentali, per verificarne l'usabilità e l'utilità in modo credibile.

La fase finale del progetto è stata dunque lo svolgimento di test d'uso del prototipo, da cui sono tratte le considerazioni conclusive.

**2.0**  
RUNNING  
E INQUINAMENTO  
ATMOSFERICO

L'inquinamento atmosferico è purtroppo una condizione oggi molto diffusa in molti centri urbani in tutto il mondo. Abbiamo familiarità con le immagini della scarsa qualità dell'aria della Pianura Padana, della skyline annerita di Los Angeles o della densa nebbia beige di Pechino, nella quale i residenti si muovono indossando una mascherina.

Gli abitanti delle aree urbane soggette a condizioni di inquinamento atmosferico, come chi scrive, si trovano a convivere con tale situazione, al punto da sviluppare una sostanziale abitudine ad esso. Uno studio condotto tra la popolazione residente nella baraccopoli alla periferia di Nairobi, in Kenya, mostra come la semplice percezione dell'odore o la vista di fumi e nebbia siano segnali spontaneamente collegati all'inquinamento. Ma alla constatazione di star respirando sostanze pericolose è assai comune che non consegua un collegamento di causa-effetto tra l'insorgenza manifesta di disturbi e patologie delle vie respiratorie e l'esposizione agli inquinanti. Non solo, a questo si aggiunge la mancanza di accesso a dispositivi di protezione adeguati, e di conoscenza di pratiche che possano limitare l'esposizione<sup>1</sup>. Un ulteriore studio condotto tra un gruppo di runner amatoriali della città di Londra ha evidenziato parimenti come alla consapevolezza generica della possibile presenza di smog nell'aria non faccia seguito una strategia d'azione mirata a trovare modalità efficaci per proteggersi da esso<sup>2</sup>. I runner adottano soluzioni di protezione solo in casi estremi, come abbiamo visto accadere durante la maratona di Pechino del 2014<sup>3</sup>.

1. Kanyiva Muindi et al., «"We Are Used to This": A Qualitative Assessment of the Perceptions of and Attitudes towards Air Pollution amongst Slum Residents in Nairobi», *BMC Public Health* 14, n. 1 (dicembre 2014): 226, <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-226>.

2. Antonia Hodgson e Russell Hitchings, «Urban Air Pollution Perception through the Experience of Social Practices: Talking about Breathing with Recreational Runners in London», *Health & Place* 53 (settembre 2018): 26–33, <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.07.009>.

3. «Beijing Marathon Runners Don Masks to Cope with Smog», *BBC News*, 19 ottobre 2014, par. China, <https://www.bbc.com/news/29679782>.

L'enciclopedia Treccani definisce così il jogging:

jogging *ˈdʒɔːɡɪŋ* s. ingl. [der. di (to) jog «procedere a sbalzi; avanzare lentamente»], usato in ital. al masch. – Forma di podismo, basata sulla corsa lenta, praticata prevalentemente all'interno di centri urbani come esercizio fisico per il miglioramento della funzionalità del sistema cardiocircolatorio e il rafforzamento dell'apparato muscolare, osseo e tendineo degli arti inferiori: tutte le mattine ... io faccio un'ora di jogging, cioè mi metto la tuta olimpionica ed esco a correre perché sento il bisogno di muovermi, perché i medici me l'hanno ordinato per combattere l'obesità che mi opprime, e anche per sfogare un po' i nervi (I. Calvino); fare j.; scarpe da jogging.<sup>4</sup>

4. «jogging in Vocabolario - Treccani», consultato 21 febbraio 2022, <https://www.treccani.it/vocabolario/jogging>.

5. «Ricerca | Garzanti Linguistica», consultato 21 febbraio 2022, <https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=%20corsa%20simile%20al%20jogging%20ma%20pi%C3%B9%20veloce>.

## 2.1 IL RUNNING URBANO

Quello del running è un fenomeno che si intreccia a quello dell'inquinamento atmosferico delle aree urbane. Molte persone residenti in aree caratterizzate da scarsa qualità dell'aria praticano la corsa – a livello amatoriale o agonistico, e il podismo è una forma diffusa di attività fisica facilmente accessibile e diffusamente praticata da parte di chi vive in città. Il running, come viene comunemente inteso dai lettori di lingua italiana, e come viene considerato in questo elaborato di tesi, è una definizione ampia che comprende qualsiasi attività di corsa, considerata a partire dal particolare contesto in cui viene praticata, cioè quello urbano. Nonostante possa apparire improprio, chiameremo dunque running genericamente ogni attività di corsa svolta in un contesto cittadino, dal momento che tale contesto è spesso caratterizzato da una elevata concentrazione di smog, e dal momento che il nostro progetto si rivolge a chi pratica una attività intensiva così come una più blanda, ossia a chi pratica il running vero e proprio così come il jogging.

Mentre il running viene inteso come "corsa simile al jogging ma più veloce".<sup>5</sup>

Vogliamo pertanto con il semplice termine running comprendere ogni attività podistica, praticata per distanze e tempi variabili in base al livello personale di allenamento, sia finalizzato alla competizione in una gara ufficiale che come una modalità per fare esercizio fisico, restare in salute, rilassarsi. Chiameremo runner chi pratica tali attività, indistintamente, non certo per fare torto a chi appartiene ad una o all'altra categoria, ma per coerenza con la specifica caratteristica del nostro progetto di volersi rivolgere a chiunque corra in città e si voglia proteggere dallo smog.

Indubbiamente, il podismo urbano nasce come jogging, la corsa blanda per mantenersi in forma, nato convenzionalmente nel 1963 con la pubblicazione di un opuscolo da parte di William "Bill" Bowerman, un insegnante di educazione fisica e allenatore della squadra di atletica leggera dell'Università dell'Oregon<sup>6</sup>, che insieme a Phil Knight fonderà la NIKE. Negli anni '50 del secolo

scorso l'incidenza negli Stati Uniti di patologie cardiovascolari come infarti e ictus era spaventosamente aumentata, facendo preoccupare la comunità scientifica, e sebbene le cause coinvolgessero l'intero stile di vita della popolazione americana, oltre ad alimentazione, consumo di alcol e tabacco, la sedentarietà era una causa importante. "Hypokinetic diseases", malattie da ipocinesi, erano definite le patologie coronariche che aumentavano proporzionalmente con la sedentarietà della popolazione. Bill Bowerman fu contattato da Seymour Lieberman, un avvocato appassionato di fitness e preoccupato per i dati sull'impatto negativo di uno stile di vita sedentario tra gli americani, il quale gli chiese di sviluppare delle brevi linee guida per fare esercizio fisico puntando sulla massima accessibilità, e poter coinvolgere il maggior numero di persone in pratiche virtuose dal punto di vista motorio. Bowerman era appena tornato da un mese in Nuova Zelanda con la squadra di atletica dell'Università dell'Oregon, dove aveva studiato da vicino le tecniche di allenamento di Arthur Lydiard, che aveva allenato numerosi campioni olimpici. Lydiard aveva creato il "Jogges Club", una associazione che riuniva persone di tutte le età e organizzava sessioni di corsa di gruppo il cui scopo era completare il percorso come se si stesse correndo una corsa campestre, ma senza alcuna competitività.<sup>7</sup>

Oggi, si stima che oltre 620 milioni di persone nel mondo praticano il running<sup>8</sup>, e la ragione prevalente che spinge i runner a correre è fare esercizio fisico e tenersi in forma<sup>9</sup>. Nelle competizioni ufficiali, la distanza preferita sono i 5Km.<sup>10</sup>

6. Alan Latham, «The History of a Habit: Jogging as a Palliative to Sedentariness in 1960s America», *Cultural Geographies* 22, n. 1 (gennaio 2015): 103–26, <https://doi.org/10.1177/14744740134919270>

7. «Born to Run: The Origins of America's Jogging Craze», *Physical Culture Study*, 15 giugno 2015, <https://physicalculturestudy.com/2015/06/15/born-to-run-the-origins-of-americas-jogging-craze/>.

8. «Globally, How Many People Practice Running (as a Sport), and What Is the Global Market Size for This Sport?», *Wonder*, consultato 5 aprile 2022, <https://askwonder.com/research/global-ly-people-practice-running-as-sport-global-market-size-sport-dba00dqvc>.

9. «Motivation to Start Running as a Sport 2017», *Statista*, consultato 5 aprile 2022, <https://www.statista.com/statistics/558667/motivation-to-start-running-as-a-sport/>.

10. «LO STATO DEL RUNNING NEL 2019», consultato 22 febbraio 2022, <https://www.forrestgroupminerva.it/blog/1337-lo-stato-del-running-nel-2019.html>.



Figura 4

Figura 4  
Uomo che corre nel traffico cittadino indossando un facciale filtrante a Chiang Mai, Thailandia.  
Fonte: Getty Images /mack2happy

## 2.2 INQUINAMENTO ATMOSFERICO URBANO

L'Organizzazione mondiale della Sanità (WHO) definisce l'inquinamento atmosferico come segue:

11. «Air Pollution», consultato 22 febbraio 2022, <https://www.who.int/westernpacific/health-topics/air-pollution>.

Air pollution is contamination of the indoor or outdoor environment by any chemical, physical or biological agent that modifies the natural characteristics of the atmosphere. Household combustion devices, motor vehicles, industrial facilities and forest fires are common sources of air pollution. Pollutants of major public health concern include particulate matter, carbon monoxide, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Outdoor and indoor air pollution cause respiratory and other diseases and is an important source of morbidity and mortality.<sup>11</sup>

Prendendo in esame la definizione riportata, è importante puntualizzare innanzitutto che la contaminazione dell'aria che respiriamo ne modifica le caratteristiche naturali, ci troviamo pertanto a descrivere una situazione di mutamento delle caratteristiche ambientali che ci circondano, al quale non siamo preparati. Ulteriormente, bisogna sottolineare che questo mutamento, che determina la creazione di un ambiente insalubre e direttamente collegato all'insorgenza di malattie respiratorie e non, è quasi interamente generato da cause collegate ad attività umane come l'uso di dispositivi per il riscaldamento delle abitazioni e veicoli motorizzati, o ad eventi spesso riconducibili alla responsabilità umana, come gli incendi forestali. L'inquinamento atmosferico può avere cause naturali: l'attività vulcanica, l'attività del vento che solleva polveri dal suolo o diffonde spore fungine, e l'emissione di gas dei terreni paludosi,

nonché gli incendi boschivi spontanei. Nelle zone caratterizzate da forte antropizzazione, e in particolare nei centri abitati, l'origine degli inquinanti è da attribuire all'attività umana. Nella città il funzionamento delle caldaie per il riscaldamento delle abitazioni e la circolazione dei veicoli a motore termico sono le principali cause di emissioni di sostanze inquinanti nell'aria, mentre fuori dai centri densamente abitati generalmente sono gli incendi boschivi ad essere la causa prevalente, e possono avere un impatto diretto sulle aree urbanizzate per azione del vento. È comune, pertanto, che si verifichi un peggioramento della qualità dell'aria nei centri urbani durante tutta la durata della stagione fredda, mentre questo accada nelle zone rurali in modo più episodico, e durante la stagione secca. Chiaramente si tratta di generalizzazioni: gli incendi boschivi possono scatenarsi anche durante un inverno particolarmente secco, e non a causa dell'uomo, inoltre durante la stagione calda alle emissioni legate alle attività umane si aggiunge l'aumento dell'ozono troposferico, un inquinante invisibile che non è direttamente immesso nell'atmosfera da industrie, caldaie o veicoli, ma è legato in modo indiretto all'inquinamento primario. L'ozono troposferico, cioè l'ozono presente nella troposfera, la fascia di atmosfera compresa tra il suolo e i 12km di altezza, è infatti il maggiore componente del cosiddetto "smog fotochimico", ed è causato dalla reazione dell'ossigeno nell'aria con altre sostanze che appartengono all'inquinamento primario, in presenza dei raggi ultravioletti provenienti dall'irraggiamento solare.<sup>12</sup>

Un altro fattore da considerare è il ruolo giocato dai fattori meteorologici sull'inquinamento atmosferico, dal momento che il movimento di masse d'aria per effetto del vento può disperdere le sostanze inquinanti così come diffonderle, mentre al contrario la mancanza di vento, o la sospensione dei moti convettivi atmosferici quando l'aria a contatto col suolo è più fredda, determinano una staticità dell'aria e di conseguenza delle sostanze inquinanti contenute, favorendone l'accumulo.<sup>13</sup> Ciò determina per esempio una presenza maggiore dell'inquinamento atmosferico a livello del suolo la sera e nelle ore notturne, e una dispersione dello stesso la mattina. Un ruolo importante lo giocano anche le precipitazioni atmosferiche, in grado di effettuare una vera e propria pulizia dell'aria, dal momento che le sostanze inquinanti vengono intrappolate nelle gocce di pioggia. Allo stesso tempo le sostanze inquinanti vengono portate al suolo con le precipitazioni, trasferendole nel terreno, e originando il fenomeno delle piogge acide.<sup>14</sup>

Proprio per lo stretto legame tra condizioni meteorologiche e stato dell'inquinamento atmosferico, sono stati sviluppati sistemi avanzati di monitoraggio della presenza di sostanze inquinanti a diversi livelli dell'atmosfera. Grazie alle rilevazioni satellitari, è possibile avere delle mappe aggiornate quasi in tempo reale delle concentrazioni di diverse sostanze inquinanti e della

12. «Ozono Troposferico - Aria / Qualità Dell'Aria», ARPA Lombardia, consultato 3 marzo 2022, <https://www.arpalombardia.it:443/Pages/Aria/Inquinanti/Ozono-Troposferico.aspx>.

13. «INQUINAMENTO ATMOSFERICO in "Enciclopedia Italiana"», consultato 22 febbraio 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico_(Enciclopedia-Italiana)).

14. «piogge acide in "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica"», consultato 7 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/piogge-acide\\_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/piogge-acide_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)).

direzione e intensità dei venti. Ai sistemi di rilevazione satellitare si aggiungono le centraline di rilevazione a terra, distribuite sul territorio dalle agenzie locali di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico. I dati raccolti sono accessibili da parte di numerosi servizi che permettono la visualizzazione di questi dati in modo chiaro e pratico. In Figura 5 è riportato il monitoraggio della concentrazione di biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), rilevato dal Copernicus Atmosphere Monitoring System e visualizzato sul sito web Windy.com:

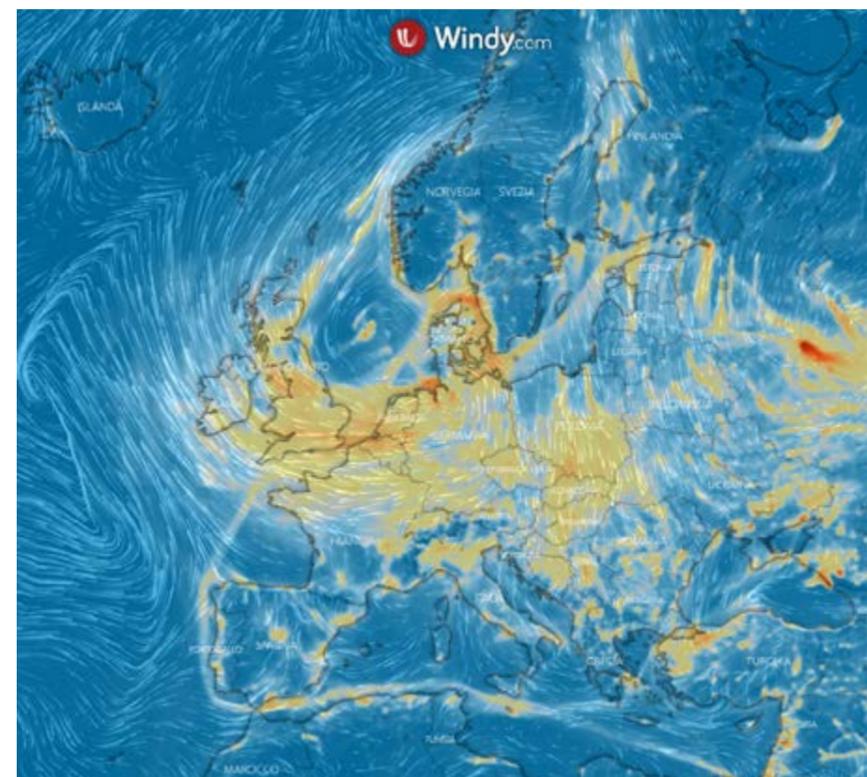


Figura 5

L'elaborazione delle rilevazioni satellitari delle concentrazioni di biossido di azoto permette di identificare i luoghi dove viene emesso nell'atmosfera, nonché la direzione in cui i venti lo disperdono o meno. In particolare, osservando le scie regolari e marcate sui mari, si possono identificare a colpo d'occhio le rotte marine commerciali più battute dalle navi, che lasciano dietro di sé vere e proprie strade di inquinamento. L'inquinamento atmosferico può essere invisibile, a meno di raggiungere concentrazioni molto elevate, ma al momento dell'emissione in atmosfera, e prima che vi si disperdano, le sostanze inquinanti si presentano in forma di gas, vapori, nebbie, o pul-

15. «INQUINAMENTO ATMOSFERICO in "Enciclopedia Italiana"», consultato 3 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico_(Enciclopedia-Italiana)).

Figura 5  
Fonte: Windy.com consultato il 7/03/2022

viscoli. Proprio per questa ragione è stato coniato il termine "smog", dall'unione dei termini inglesi "smoke" (fumo) e "fog" (nebbia)<sup>15</sup>, per definire l'inquinamento atmosferico urbano, ormai parte della normalità della vita in città.

## 2.2.1 CATEGORIE E ORIGINE DEGLI INQUINANTI

Le sostanze inquinanti, escluse polveri, spore e gas collegati alla decomposizione di materiale organico, sono in prevalenza derivate dalla combustione. Le impurità presenti nel materiale combustibile determinano la formazione di residui incombusti, che vengono liberati nell'aria. Nelle aree urbane, lo smog è determinato dalla combustione di gas naturale e biomasse come carbone o legna nelle caldaie e di idrocarburi nei veicoli a motore termico, nelle aree rurali è più comune l'uso di riscaldamento a biomasse, così come i già citati incendi boschivi. È rilevante anche l'inquinamento industriale, sempre derivante dalla combustione di idrocarburi, o legato alle attività delle industrie metallurgiche e chimiche.<sup>16</sup>

Le sostanze dannose sono state identificate e classificate in modo chiaro e condiviso dalle organizzazioni preposte alla salute pubblica, e vengono monitorate localmente e globalmente. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), indica le seguenti sostanze inquinanti rilevanti in termini di impatto sulla salute, e ai fini del monitoraggio:

- **Particolato atmosferico** – particulate matter – PM10/2.5/1
- **Ozono** – ozone – O<sub>3</sub>
- **Biossido di azoto** – nitrogen dioxide – NO<sub>2</sub>
- **Biossido di Zolfo** o anidride solforosa – sulfur dioxide – SO<sub>2</sub>
- **Monossido di carbonio** – carbon monoxide – CO

Da questo elenco, tuttavia, si potrebbe facilmente dedurre che il particolato atmosferico sia una sostanza inquinante distinta dalle altre, ma è d'obbligo una precisazione: esso è in realtà una categoria dimensionale di classificazione delle sostanze, che ne specifica il grado di pericolosità relativamente alla capacità di penetrare nell'organismo attraversando le vie aeree durante la normale respirazione. Il particolato atmosferico è costituito da particelle solide o minuscole goccioline di liquido, categorizzate in base alla dimensione, misurata in micron.<sup>17</sup> Identificare le dimensioni delle particelle del particolato atmosferico è molto importante perché queste determinano la loro capacità di penetrare nell'organismo attraverso le vie aeree. Le dimensioni delle particelle sono definite rispetto

16. «INQUINAMENTO ATMOSFERICO in "Enciclopedia Italiana"», consultato 3 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico_(Enciclopedia-Italiana)).

17. OAR US EPA, «Particulate Matter (PM) Basics», *Overviews and Factsheets*, 19 aprile 2016, <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.

al diametro di una sfera equivalente che abbia caratteristiche aerodinamiche analoghe alla particella considerata, in particolare analogo velocità di deposizione.

Per fare un esempio, dunque, il PM10 è costituito da particelle di diametro approssimato minore di 10μ. Sono dette anche polveri sottili, e le diverse dimensioni indicano perciò diversi gradi di nocività per la salute: il PM10 costituisce la frazione inalabile, che viene in contatto con le mucose delle vie aeree superiori, il PM2.5 costituisce la frazione toracica, che supera la trachea e arriva ai polmoni, mentre il PM1 la frazione respirabile.

L'ozono troposferico, come abbiamo spiegato precedentemente, appartiene allo smog fotochimico e causa irritazione delle vie respiratorie, alla gola e agli occhi, specialmente nei soggetti sensibili come anziani, bambini e soggetti asmatici.<sup>18</sup>

Gli ossidi di azoto derivano dalla combustione di biomasse, principalmente legate al traffico veicolare, le centrali termoelettriche e il riscaldamento domestico, e sia accumulano in condizioni di scarso ricambio d'aria. Ha un odore pungente e costituisce una cappa di colore rosso-bruno spesso presente sopra i centri urbani. L'esposizione al biossido di azoto, quattro volte più nocivo del monossido di azoto, provoca infiammazione delle mucose, dal momento che reagisce con le membrane cellulari provocando l'ossidazione di proteine e lipidi.<sup>19</sup>

Gli ossidi di zolfo, derivano dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo come impurità, o come parte costitutiva della molecola, come gli olii.<sup>20</sup>

Oltre alle attività antropiche di combustione, una importante fonte di biossido di zolfo sono l'attività vulcanica e gli incendi: le

18. «Inquinanti Atmosferici —», consultato 7 marzo 2022, <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/inquinanti-atmosferici>.

19. *Ibidem*

20. *Ibidem*



Figura 6 - Fonte: Shutterstock/RossHelen

immagini tratte da Windy.com mostrano le rilevazioni satellitari delle emissioni di biossido di zolfo sopra i siti vulcanici dell'Etna e dell'isola di Stromboli, e sopra le località di Nikopol, Zaporizh-zia e Donec'k, in Ucraina, luoghi dove nel momento in cui sono state catturate le schermate sono segnalati roghi di depositi di idrocarburi, scoppiati a causa degli scontri tra ucraini e russi attualmente in corso.

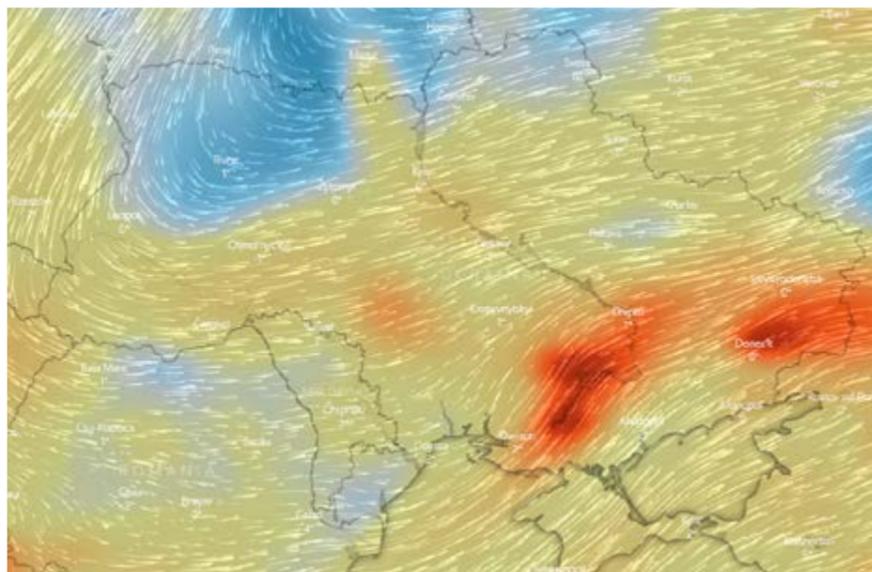


Figura 7

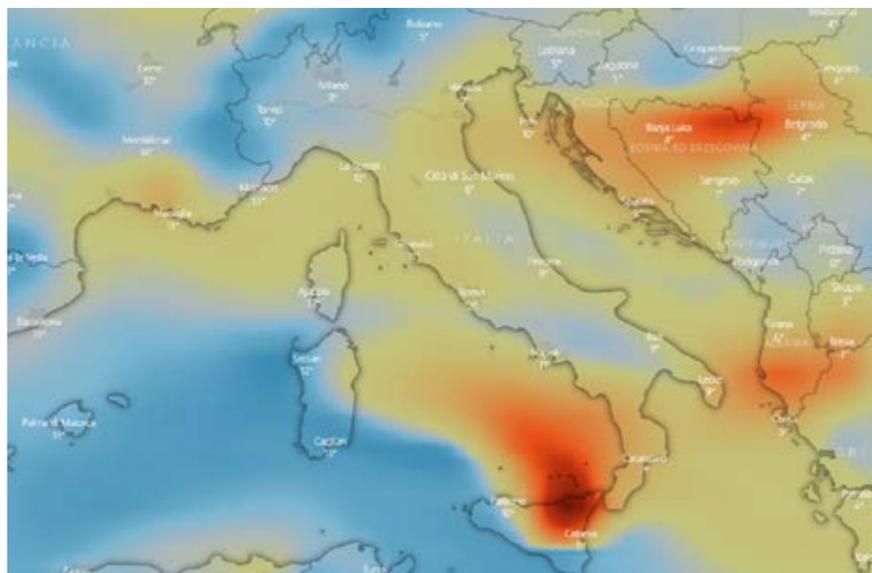


Figura 8

Figura 7  
SO<sub>2</sub> Ucraina 7.3.2022, fonte Windy.comFigura 8  
SO<sub>2</sub> Italia 7.03.2022, fonte Windy.com

Il monossido di carbonio è inodore e incolore; le principali fonti di origine antropica sono gli scarichi delle automobili, soprattutto alimentate a benzina, gli impianti siderurgici, di smaltimento dei rifiuti e le raffinerie di petrolio. Il principale danno che il monossido di carbonio porta all'organismo umano è di raggiungere gli alveoli polmonari e interferire con la capacità dell'ossigeno di legarsi all'emoglobina nel sangue, riducendo l'ossigenazione del sangue durante la respirazione. La conseguente ipossia (mancanza di ossigeno) porta a svariate condizioni come difficoltà di concentrazione, aumento del battito cardiaco e della pressione.<sup>21</sup>

Oltre alle sostanze riportate nell'elenco dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, vi sono numerose altre sostanze nocive e pericolose, oggetto di monitoraggio da parte di organismi locali, come piombo (Pb), nichel (Ni), arsenico (As) e cadmio (Cd), e numerosi Composti Organici Volatili (Organic Volatile Compounds - VOC). I composti organici volatili sono definiti dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 delle norme in materia ambientale, e sono tutte quelle sostanze organiche che alla temperatura di 20°C hanno una pressione di vapore di 0,01Kpa<sup>22</sup>

Questo significa che sono sostanze che emettono vapori o si liberano nell'aria a temperatura ambiente. I VOCs sono spesso solventi, e pertanto estremamente diffusi in modo trasversale tra numerosi prodotti usati in svariati campi. Sostanze che emettono VOCs sono vernici, lacche, prodotti per la pulizia, cosmetici, materiali edili, materiali di rivestimento degli arredi, colle, adesivi, inchiostri indelebili. Appartengono alla categoria la formaldeide (librata dai pannelli di laminato dei vecchi mobili) e il benzene, liberato dalla benzina a temperatura ambiente, quindi per esempio dalle automobili parcheggiate, e dalla combustione del tabacco.<sup>23</sup>

Gli effetti sulla salute provocati dall'inalazione dei VOCs sono numerosi: irritazione delle vie aeree, reazioni allergiche cutanee, nausea, vomito, svenimento sono tra i più comuni.<sup>24</sup>

21. «Inquinanti Atmosferici —», consultato 7 marzo 2022, <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/inquinanti-atmosferici>.

22. «DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 - Normattiva», consultato 3 marzo 2022, <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto-legislativo:2006-04-03;152-art268!vig=>

23. OAR US EPA, «What Are Volatile Organic Compounds (VOCs)?», Overviews and Factsheets, 19 febbraio 2019, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-are-volatile-organic-compounds-vocs>.

24. OAR US EPA, «Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality», Overviews and Factsheets, 18 agosto 2014, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>.



Figura 9 - Smog sopra Milano. Fonte: Claudio Furlan/LaPresse/dpa

## 2.2.2 NORMATIVE E LIMITI

I limiti sulle concentrazioni di sostanze inquinanti imposti dalle normative hanno lo scopo intervenire direttamente su un fattore di rischio per la salute di ampie parti della popolazione, favorendo la nascita di legislazioni adeguate volte a limitare l'emissione delle sostanze inquinanti, andando ad agire sulle cause della loro emissione nell'atmosfera. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha recentemente pubblicato delle nuove linee guida che hanno reso più stringenti le soglie accettabili di sostanze inquinanti, concentrandosi sui cinque principali inquinanti:

25.«Qualità aria, revisione norme Ue entro 2022 > ReteAmbiente», consultato 3 marzo 2022, <https://www.reteam-biente.it/news/45854/qualit-aria-revisione-norme-ue-entro-2022/>.

Inquinante (µg/m³)	Intervallo media	Linee guida 2021	Linee guida 2005	Limiti normativi
PM <sub>2.5</sub>	Anno civile	5	10	25
	24 ore*	15	25	-
PM <sub>10</sub>	Anno civile	15	20	40
	24 ore*	45	50	50, da non superare più di 35 volte nell'anno civile
O <sub>3</sub>	Periodo di picco**	60	-	Valore obiettivo: media massima giornaliera calcolata su 8 ore di 120 µg/m³, da non superare più di 25 volte/anno come media su 3 anni
	8 ore*	100	100	-
NO <sub>2</sub>	Anno civile	10	40	40
	24 ore*	25	-	-
SO <sub>2</sub>	24 ore*	40	20	125, da non superare più di 3 volte per anno civile
CO <sub>2</sub>	24 ore*	4	-	-

Figura 10

Nei paesi dell'Unione Europea vige la Direttiva 2008/50/CE sulla qualità dell'aria ambiente, che stabilisce valori limite e valori obiettivo. È previsto un aggiornamento entro il 2022 della normativa europea per adeguarsi ai nuovi standard fissati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, e maggiormente coerenti con il piano di lotta all'inquinamento atmosferico della Commissione UE.<sup>25</sup>

Figura 10  
\* 99° percentile (3/4 giorni di superamento per anno)  
\*\* media massima giornaliera calcolata su 8 ore, nei sei mesi consecutivi con la più alta concentrazione media semestrale.  
Fonte: OMS

Ai fini di monitorare in modo aggregato, facilmente consultabile e confrontabile nel tempo la qualità dell'aria, viene utilizzato un Indice di Qualità dell'Aria, o Air Quality Index (AQI). Diversi paesi ne hanno sviluppato uno proprio, e le diverse agenzie governative deputate al monitoraggio della qualità dell'aria lo utilizzano per informare efficacemente la popolazione, e per creare serie storiche. Lo AQI considera le concentrazioni dei cinque principali inquinanti stabiliti dalla Organizzazione Mondiale della Sanità osservate in un periodo di tempo. La scala più diffusa è quella utilizzata negli Stati Uniti d'America (U.S. AQI):<sup>26</sup>

26. «WHAT IS AIR QUALITY INDEX (AQI)», Business Standard India, consultato 3 marzo 2022, <https://www.business-standard.com/about/what-is-air-quality-index>.



Figura 11

Figura 11  
Fonte: IQAir.com

## 2.2.3 RISCHI PER LA SALUTE

L'esposizione ai cinque principali inquinanti atmosferici è sicuramente nociva,<sup>27</sup> dal momento che come abbiamo illustrato

"le particelle fini possono attraversare la barriera alveolare, passare nel circolo sanguigno ed essere assorbite dai tessuti. Più vulnerabili ai rischi connessi all'esposizione a inquinanti atmosferici, sono i soggetti con patologie cardiache o polmonari, i bambini e gli anziani. Nei soggetti con patologie cardiache, cardiovascolari o polmonari l'inalazione del particolato è associata a un incremento di morbilità – riacutizzazione di sintomatologia preesistente – e mortalità cardiorespiratoria. Per i bambini l'aumento del rischio è dovuto a diversi motivi: un apparato respiratorio e un sistema immunitario non ancora completamente sviluppati, livelli di attività fisica più elevati, maggiore frequenza respiratoria che li espone all'inalazione di una maggiore quantità d'inquinanti in proporzione al peso corporeo. Ciò comporta un incremento d'incidenza di sintomi respiratori acuti di crisi asmatiche, e nel tempo una riduzione della funzione polmonare. Recenti studi inoltre hanno associato l'esposizione a lungo termine al particolato con l'aumentato rischio di parto pretermine e il basso peso dei neonati alla nascita".<sup>28</sup>

27. «Air Pollution», consultato 3 marzo 2022, <https://www.who.int/western-pacific/health-topics/air-pollution>.

28. Ministero dell'ambiente, Relazione sullo stato dell'ambiente, 2016.

Bisogna notare che l'esposizione all'inquinamento atmosferico è un fenomeno complesso, caratterizzato dall'esposizione a molteplici sostanze nocive in contemporanea, le quali hanno un effetto combinato sul nostro organismo. Sono interessanti a tal proposito i risultati di uno studio canadese che ha correlato la mortalità per malattie del sistema respiratorio e tumori ivi localizzati con la fluttuazione dei livelli di ozono troposferico rilevato dai sistemi di monitoraggio istituiti dall'amministrazione locale, a Montreal. I livelli di ozono di superficie sono generalmente contenuti, con dei picchi nei mesi estivi, per le ragioni che abbiamo spiegato; tuttavia, viene evidenziato il fatto che l'analisi degli effetti dell'inquinante specifico non può non tener conto degli effetti derivanti dall'esposizione combinata agli altri inquinanti urbani da fonti antropiche, che provocano una riduzione della capacità dei macrofagi del nostro sistema immunitario di eliminare i batteri e virus.<sup>29</sup> Non solo, sono attestate evidenze che collegano l'esposizione prolungata e continuativa alle polveri sottili e l'incidenza di patologie cardiovascolari, una associazione che non varia quando si considerano soglie di concentrazione delle sostanze inquinanti inferiori ai limiti europei (sia nuovi che precedenti), riportati nella tabella in figura 4.

29. M. S. Goldberg, «Associations between Daily Cause-Specific Mortality and Concentrations of Ground-Level Ozone in Montreal, Quebec», *American Journal of Epidemiology* 154, n. 9 (1 novembre 2001): 817–26, <https://doi.org/10.1093/aje/154.9.817>.

### Deadly impact of air pollution

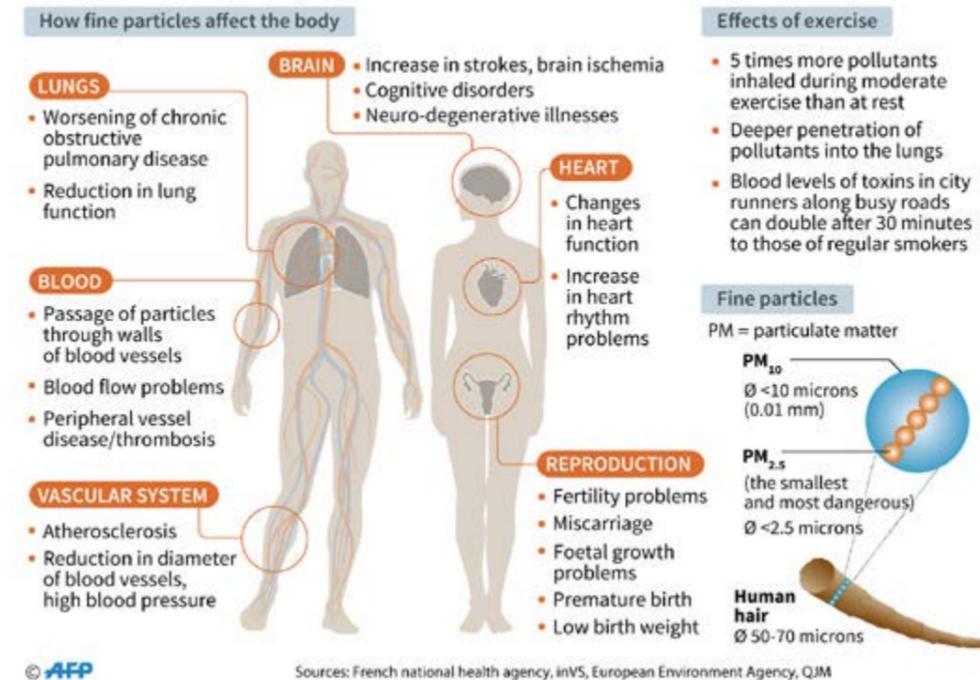


Figura 12

Figura 13  
Fonte: European Environment Agency

## 2.3 SFORZO FISICO E SMOG

Come abbiamo illustrato, l'inquinamento atmosferico è una condizione comune in molti centri urbani, a cui gli abitanti sono esposti in dosi variabili, a seconda della prossimità con una fonte di polveri sottili o composti organici volatili pericolosi, e in relazione a variabili meteorologiche e oro-geografiche. La ricerca si è focalizzata dunque sul soggetto al centro del progetto, il runner urbano, categoria assai numerosa e caratteristica delle grandi città, di cui abbiamo approfondito la genesi storico-culturale. Scopo di questa indagine è stato di indagare i rischi a cui è esposto, sulla scorta delle informazioni raccolte riguardo a composizione e origine dell'inquinamento atmosferico, chi pratica una attività fisica che necessariamente aumenta la funzione cardio-respiratoria. Per esporre con cognizione di causa i risultati di numerosi studi scientifici ed illustrare l'impatto delle sostanze inquinanti sull'organismo di chi pratica attività fisica, si rende necessario chiarire i meccanismi fisiologici e biologici dell'apparato cardio-circolatorio durante lo svolgimento di una attività fisica come la corsa, e determinare in seguito se la maggiore intensità di questi comporta un maggiore fattore di rischio per i soggetti.

### 2.3.1 FUNZIONALITÀ RESPIRATORIA

La funzionalità respiratoria è garantita dall'apparato respiratorio, ovvero il complesso insieme di organi che si interfaccia con il sistema cardio-circolatorio e garantisce la respirazione, che consiste nell'adeguato approvvigionamento di ossigeno alle cellule e l'eliminazione dell'anidride carbonica prodotta da esse. La respirazione ha origine nella stimolazione del centro respiratorio presente nel sistema nervoso centrale, da parte dell'anidride carbonica o dall'aumento della concentrazione di altre sostanze che vengono assorbite tramite la respirazione e che vengono individuate come indesiderate (la nicotina assorbita con il fumo di tabacco, per esempio). I recettori chimici presenti negli alveoli inviano al sistema nervoso un segnale ogni volta che si rende necessario estrarre le sostanze rilevate nel sangue, facendo aumentare il ritmo della respirazione in modo involontario, garantendo un maggiore scambio gassoso e la conseguente pulizia del sangue. L'aumento della concentrazione di anidride carbonica nel sangue può essere anche originato dall'intensificarsi dell'attività muscolare, che appunto produce anidride carbonica come scarto, la quale viene messa in circolo ed espulsa attraverso la respirazione. Il semplice aumento del metabolismo basta

ad attivare un aumento involontario della funzione respiratoria. Quest'ultima è calibrata in modo preciso dal sistema nervoso in modo da essere sempre adeguata al bisogno: uno sforzo intenso però porta l'organismo oltre la soglia di efficienza, in cui il ritmo cardiaco e la respirazione aumentano a tal punto che il sangue non trascorre abbastanza tempo nei polmoni per ossigenarsi in modo adeguato rispetto al fabbisogno.<sup>30</sup>

30. «RESPIRATORIO, APPARATO in "Enciclopedia Italiana", consultato 8 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio\\_res-beb1992c-87e6-11dc-8e9d-0016357e-ee51\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio_res-beb1992c-87e6-11dc-8e9d-0016357e-ee51_(Enciclopedia-Italiana)).

#### 2.3.1.1 ANATOMIA E MECCANICA DELLA RESPIRAZIONE

L'apparato respiratorio è costituito da due parti principali, le vie aeree superiori e le vie aeree inferiori.

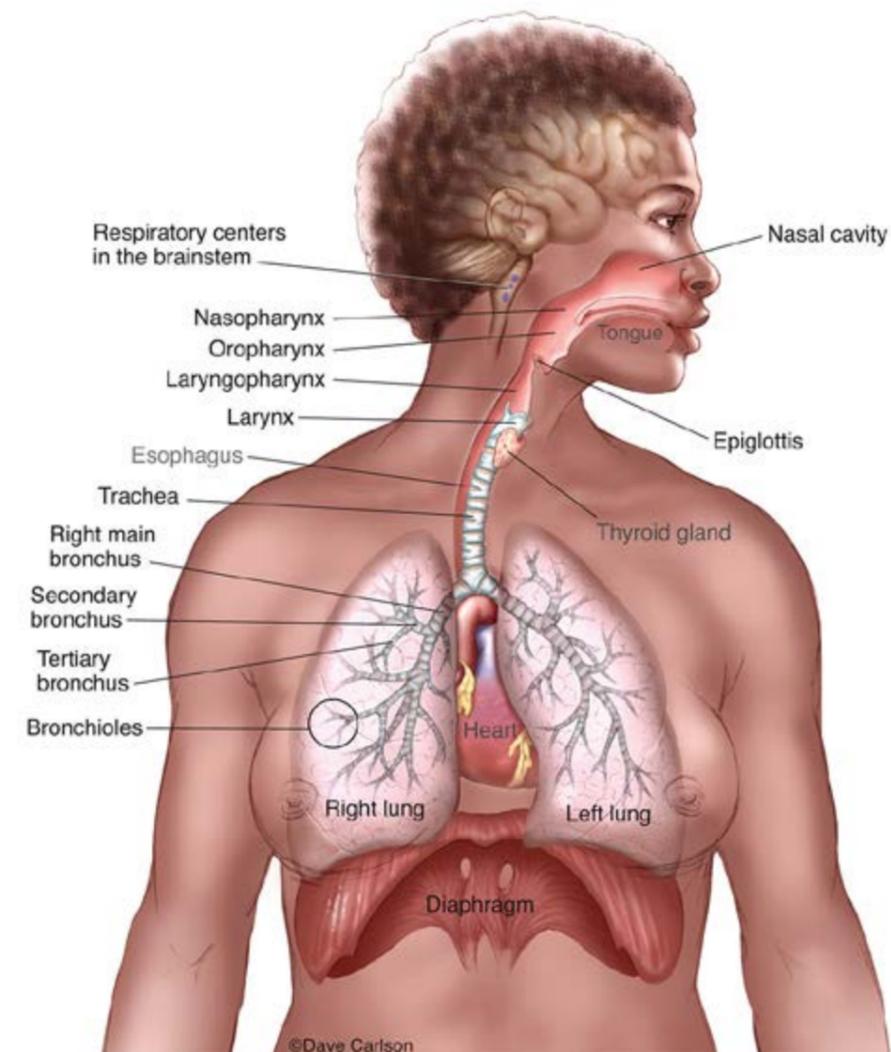


Figura 14

Figura 15  
General overview of the anatomy of the human respiratory system.  
Fonte: Dave Carlson Science Source

Le vie aeree superiori sono esterne al torace, e sono quindi naso e fosse nasali, seni paranasali, cavità orale, faringe e laringe. Le vie aeree inferiori si trovano tutte contenute nella cavità toracica e sono trachea, bronchi, bronchioli, alveoli e polmoni. È proprio negli alveoli polmonari che avviene lo scambio gassoso tra ossigeno (di cui l'aria che respiriamo è costituita al 21%), che può essere metaforicamente definito come il combustibile usato dalle cellule del nostro corpo, e anidride carbonica, prodotto di scarto dell'attività cellulare. Nelle vie aeree superiori, le cavità nasali hanno anche una funzione di filtraggio, riscaldamento e umidificazione dell'aria immessa nei polmoni.

Inserito nella gabbia toracica, l'apparato respiratorio si serve per il suo funzionamento del diaframma e dei muscoli intercostali, che alternano ritmicamente la loro contrazione ed espansione, permettendo di conseguenza ai polmoni, collegati alla gabbia toracica tramite la pleura, di contrarsi ed espandersi aspirando ed espirando aria proprio come un mantice.<sup>31</sup>

La contrazione del diaframma fa abbassare il muscolo stesso verso il basso, determinando una espansione della cassa toracica e quindi dei polmoni, nei quali si verifica un calo di pressione. L'espirazione è in condizioni normali una attività passiva, dal momento che è conseguenza del rilassamento del muscolo diaframma.<sup>32</sup>

31. «respiratorio, apparato in "Dizionario di Medicina"», consultato 8 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio\\_\(Dizionario-di-Medicina\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio_(Dizionario-di-Medicina)).

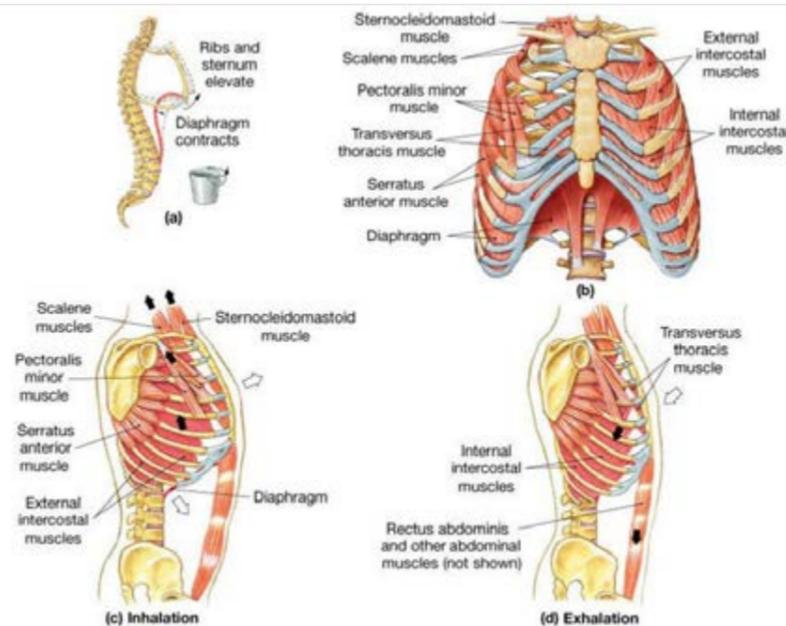
32. «respiratorio, apparato nell'Enciclopedia Treccani», consultato 8 marzo 2022, <https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio>.

### 2.3.1.2 ARCHITETTURA DELLA RESPIRAZIONE

L'apparato respiratorio è organizzato in sezioni, distinte in base alla funzione. Innanzitutto, i centri respiratori, localizzati nel tronco encefalico, hanno, come detto, il compito di dettare il ritmo respiratorio e lo regolano in base agli stimoli provenienti dai recettori, attivando la gabbia toracica e i muscoli respiratori, che attuano il meccanismo della respirazione. In secondo luogo, vi sono i polmoni, dove avviene la respirazione vera e propria. I polmoni sono costituiti dai condotti che consentono il passaggio dell'aria in modo adeguato, dalla membrana polmonare, che si gonfia d'aria, e dal parenchima, cioè il sistema di bronchioli e alveoli, che trova nel resto del polmone la sua struttura portante.

Oltre allo scambio gassoso, che avviene in modo passivo, per diffusione, vi sono numerose altre attività che devono essere svolte dalle cellule dei polmoni, fondamentali per garantire il corretto svolgimento della respirazione, andando a regolare l'umidità della superficie interna dei polmoni, il tentativo di rimozione delle particelle estranee tramite l'azione coordinata di cellule ciliate e secrezione di muco.

Nei polmoni si individuano tre zone funzionali: zona di conduzione, zona di transizione, e zona respiratoria.



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

Figura 16

Figura 16

I muscoli respiratori.

Fonte: Pearson Education Inc.



Figura 17 - Fonte: Pexels.com /Ketut Subiyanto

La zona di conduzione è caratterizzata da bassa resistenza al flusso, con un condotto breve e dal diametro ampio, collegato a condotti ridotti e di piccolo volume, non deputati allo spazio gassoso, che costituiscono lo spazio morto, di cui parleremo a breve. Man mano che si scende dall'alto verso il basso, l'area della sezione trasversale dell'albero bronchiale aumenta, con l'aumentare delle ramificazioni. Tale conformazione fa sì che il maggiore rallentamento subito dal flusso d'aria per effetto della resistenza al flusso, avvenga nella parte alta dell'albero bronchiale, in particolare nei condotti con diametro interno superiore ai 2mm.

Bisogna notare che il 77% del volume dei polmoni, in condizioni di respirazione normali, è costituito da aria e sangue situata nella zona di transizione e in quella respiratoria; al termine di una respirazione profonda, circa l'80% del volume dei polmoni è costituito da aria, il 10% da sangue e solamente il restante 10% è tessuto.

La zona di transizione è costituita dai bronchioli, qui si mescola l'aria inspirata e il gas rimasto nei polmoni al termine della espirazione precedente.

La zona respiratoria è costituita dai dotti alveolari, e dagli alveoli ed è la regione dove avviene lo scambio gassoso che costituisce la respirazione vera e propria. Gli alveoli sono strutture estremamente ottimizzate per svolgere con efficienza lo scambio gassoso. Di forma sferica e cava, hanno una area elevata rispetto al volume, e permettono la creazione di due ambienti separati dalla membrana che li costituisce: uno "interno" agli alveoli, che entra in contatto con l'aria ricca di ossigeno, e uno "esterno" ad essi, che è a contatto con il sangue ricco di anidride carbonica, tramite una fitta rete di vasi sanguigni che si estende per circa 90 metri quadrati. Gli alveoli polmonari sono circa 750.000.000, sono estremamente piccoli, con un diametro compreso tra i 200 e i 300 $\mu$ , e presentano un rapporto tra superficie e volume di 4.5-5 a 1.

Il consumo di ossigeno da parte dell'organismo è di circa 250ml al minuto a riposo, fino a 3-4000ml al minuto, sotto sforzo.<sup>33</sup>

33. «RESPIRATORIO, APPARATO in "Enciclopedia Italiana"», consultato 8 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio\\_res-0adcf793-87eb-11dc-8e9d-0016357e-ee51\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio_res-0adcf793-87eb-11dc-8e9d-0016357e-ee51_(Enciclopedia-Italiana)).

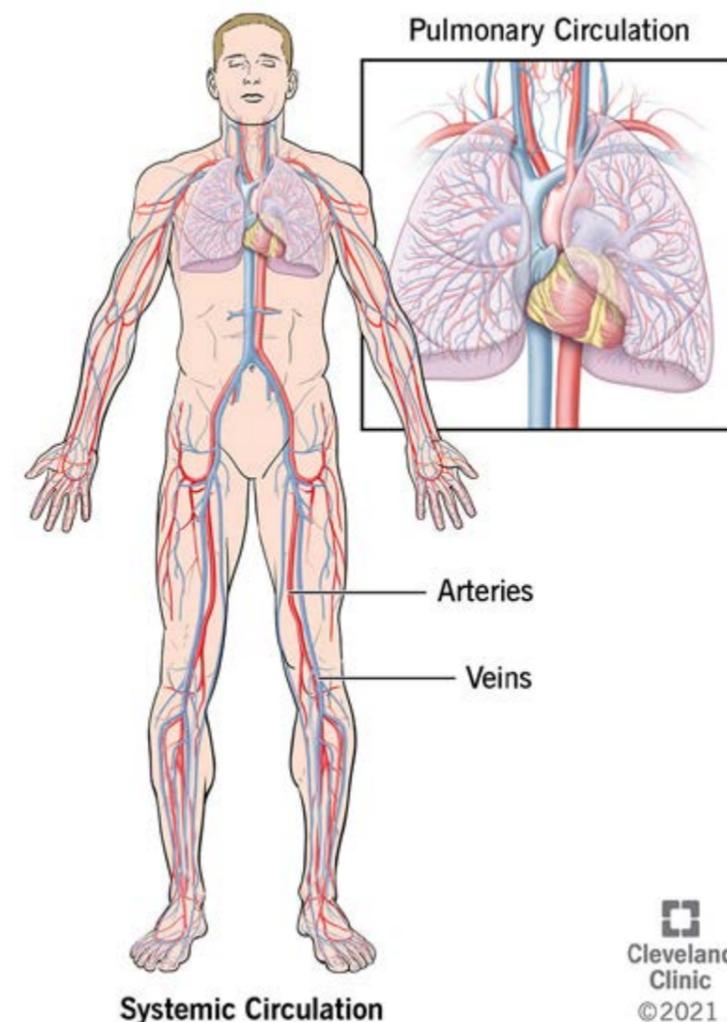


Figura 18

#### 2.3.1.4 SEMEIOTICA DELL'APPARATO RESPIRATORIO

In medicina, ai fini della formulazione di una diagnosi basata sulla sintomatologia riscontrata nell'analisi dell'apparato respiratorio, è rilevante, oltre ad altri elementi, la misurazione del volume d'aria che attraversa l'apparato in diverse fasi della respirazione, e in diverse condizioni metaboliche.

Il volume corrente è la quantità d'aria che attraversa l'apparato respiratorio ad ogni atto respiratorio: corrisponde a circa 500ml d'aria, in un soggetto adulto. Con una media di 12-16 atti respiratori al minuto, nei soggetti adulti a riposo, la ventilazione polmonare corrisponde a 6000-8000ml d'aria al minuto di fabbisogno d'aria.

Figura 19  
Il sistema circolatorio.  
Fonte: Cleveland Clinic

Negli alveoli polmonari, invece, passano in un minuto 4000-6000ml d'aria, e costituisce la ventilazione alveolare. Non tutto il volume d'aria immessa nei polmoni viene espulsa: sarebbe necessario, infatti, che i polmoni collassassero completamente per svuotarsi del tutto. Un volume di 150-180 ml di aria rimane necessariamente contenuto nei polmoni, e costituisce lo spazio morto. Con una inspirazione forzata possono essere introdotti nell'apparato respiratorio 3000ml d'aria, che costituiscono la riserva inspiratoria. Al termine di una espirazione forzata, invece, restano 1200ml d'aria contenuta nei polmoni, mentre con una espirazione forzata successiva ad una espirazione normale, si espelle una quantità d'aria, sempre di 1200ml, che costituisce la riserva espiratoria. La somma dei volumi d'aria del volume corrente, della riserva inspiratoria e della riserva espiratoria costituisce la capacità vitale, pari a circa 4700ml d'aria. La capacità inspiratoria è pari invece alla somma del volume corrente e della riserva inspiratoria.<sup>34</sup>

La quantità d'aria che viene respirata viene chiamata Ventilazione Volontaria Massima (MVV, in inglese). Il parametro della MVV è di circa 140-180 L/min per gli uomini adulti, e di circa 80-120 L/min per le donne adulte. Questo dato può arrivare fino a 200 L/min in alcuni atleti.<sup>35</sup>

34. «RESPIRATORIO, APPARATO in "Enciclopedia Italiana"», consultato 8 marzo 2022, [https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio\\_res-0adcf793-87eb-11dc-8e9d-0016357e-ee51\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio_res-0adcf793-87eb-11dc-8e9d-0016357e-ee51_(Enciclopedia-Italiana)).

35. William Thomas Boone, *Introduction to Exercise Physiology* (Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning, 2014).

36. Inge Bos et al., «Subclinical Effects of Aerobic Training in Urban Environment», *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45, n. 3 (marzo 2013): 439-47, <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827767fc>.

Durante la corsa, la ventilazione polmonare aumenta, e di conseguenza aumenta la quantità di sostanze inquinanti inalate. Inoltre, solitamente, la corsa porta a respirare principalmente con la bocca, eludendo effettivamente il meccanismo di filtrazione garantito dalle cellule ciliate e dai peli nelle cavità nasali. La respirazione diventa anche più profonda, trasportando facilmente le sostanze nocive più in profondità nei polmoni, ed aumenta anche la perfusione polmonare, favorendo il trasporto delle sostanze e la loro messa in circolo nell'organismo. È pertanto innegabile che il runner urbano si pone in una condizione di particolare vulnerabilità nei confronti degli inquinanti atmosferici, con effetti postumi rilevabili come una alterazione della capacità della mucosa nasale di liberarsi delle molecole di inquinanti, le quali vengono invece assorbite.<sup>37</sup>

Un altro dato notevole, anche se già segnalato precedentemente, è la presenza combinata degli inquinanti, che sebbene siano studiati singolarmente nel livello di minaccia che rappresentano per la salute, penetrano nell'organismo in modo congiunto, agendo in sinergia. Non solo, anche il tempo di esposizione deve essere preso in considerazione, dal momento che risulta rilevante nel determinare diversi livelli di rischio per chi si allena con una corsa breve rispetto a chi si prepara per una gara di resistenza.<sup>38</sup>

37. A J Carlisle, «Exercise and Outdoor Ambient Air Pollution», *British Journal of Sports Medicine* 35, n. 4 (1 agosto 2001): 214-22, <https://doi.org/10.1136/bjism.35.4.214>.

38. *Ibidem*.

39. Leonardo Pasqua et al., «Exercising in Air Pollution: The Cleanest versus Dirtiest Cities Challenge», *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, n. 7 (17 luglio 2018): 1502, <https://doi.org/10.3390/ijer-ph15071502>.

40. Mengmeng Guo e Shihe Fu, «Running With a Mask? The Effect of Air Pollution on Marathon Runners' Performance», *Journal of Sports Economics* 20, n. 7 (ottobre 2019): 903-28, <https://doi.org/10.1177/1527002518822701>.

## 2.4 RISCHI PER LA SALUTE

Dopo aver chiarito di cosa si tratti l'inquinamento atmosferico e dopo aver definito almeno per sommi capi il funzionamento della respirazione umana e gli organi coinvolti, nonché il modo in cui le sostanze inquinanti interagiscono con il nostro organismo proprio attraverso la respirazione, affrontiamo infine il tema nodale della nostra ricerca e approfondiamo quali siano i rischi per la salute di un runner che svolga un allenamento in modo continuativo in un ambiente urbano, caratterizzato da livelli rilevanti di inquinamento atmosferico.

Occorre chiarire fin da subito che non esiste una risposta univoca alla domanda su quali rischi presenti l'inquinamento atmosferico per i runner urbani, e di quale entità, è tuttavia acclarato che vi sono dei rischi, e sono documentati degli effetti sull'organismo, riconducibili ad un abbassamento del livello di performance nella corsa, e una generalizzata riduzione della capacità di assorbire ossigeno. Le analisi del sangue di atleti che svolgono attività aerobica in un ambiente urbano caratterizzato da elevato inquinamento legato al traffico veicolare evidenziano un incremento dei biomarcatori associati con uno stato infiammatorio, a differenza di chi si allena in ambiente rurale.<sup>36</sup>

### 2.4.1 EFFETTI DOCUMENTATI NEI RUNNER

Un importante studio ha analizzato l'impatto sull'organismo di un allenamento, raccogliendo dati in diverse città, con livelli differenti di inquinamento. I risultati mostrano che se da un lato l'attività fisica svolta nelle città con aria più pulita per un arco di tempo fino a novanta minuti, portava effetti benefici per l'organismo, nelle città dove l'aria era più inquinata i benefici cessavano dopo quindici minuti, e addirittura erano superati dai rischi per la salute dopo 75 minuti.<sup>39</sup>

Un altro interessante studio ha preso in considerazione i livelli di smog e i tempi registrati durante 56 maratone svoltesi in Cina tra il 2014 e il 2015, a cui hanno partecipato un totale di 300.000 persone, registrando uno scostamento negativo dei tempi medi di gara, col diminuire della qualità dell'aria.<sup>40</sup>

Gli effetti degli inquinanti sull'organismo di chi vi è esposto in condizioni di sforzo fisico non variano in maniera sensibile rispetto a chi vi è esposto a riposo, e a livello di sintomatologia generale valgono le considerazioni già fatte in precedenza sul tema.

Generalmente, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> sono presenti in quantità ridotte, e non presentano una minaccia particolare, non tanto quanto il PM<sub>10</sub> e l'ozono superficiale: i dati provenienti da diversi studi in materia, evidenziano alcuni effetti particolari. L'esposizione al PM<sub>10</sub> è stata associata con un decremento della performance nelle runner di sesso femminile, con una diminuzione dell'1.4% ogni volta che il livello di PM<sub>10</sub> a cui era esposta l'atleta aumenta di 10µg<sup>3</sup>.<sup>41</sup> L'esposizione al monossido di carbonio CO è una minaccia reale, dal momento che interferisce direttamente con la capacità di trasportare ossigeno nel sangue da parte dell'emoglobina. Livelli di carbossiemoglobina (COHb) del 4-6% sono stati rilevati dalle analisi del sangue di runner e ciclisti urbani: livelli comparabili a quelli di un fumatore cronico. La COHb è la molecola che si forma quando l'emoglobina si lega al monossido di carbonio invece che all'ossigeno, interferendo direttamente nell'efficienza respiratoria, e con una grande facilità a formarsi, dal momento che il monossido di carbonio ha una affinità con l'emoglobina 200 volte maggiore rispetto all'ossigeno.<sup>42</sup> L'inalazione di O<sub>3</sub> causa una involontaria riduzione della capacità di inspirazione e aumenta la resistenza al flusso nei polmoni<sup>43</sup> nonché causa affaticamento respiratorio e conseguente riduzione del carico massimo di lavoro e del tempo dedicato all'allenamento<sup>44</sup>

## 2.4.2 COMPORAMENTI VIRTUOSI

È sicuramente difficile bilanciare benefici e rischi dell'attività fisica svolta in ambiente urbano in presenza di inquinamento atmosferico. I benefici sono noti ed evidenti, e le attività di running e jogging svolte all'aria aperta sono stimolanti e facilmente accessibili. Oltretutto, gioca un ruolo chiave la capacità di auto-riparazione entro certi limiti del nostro stesso organismo, nonché il fatto che un esercizio regolare contribuisce in modo determinante a migliorare i meccanismi fisiologici e gli effetti sulla salute che invece l'esposizione all'inquinamento deteriora.<sup>45</sup> Per evitare al CO<sub>2</sub>, evitare le ore di punta e le strade trafficate, i locali fumosi, evitare di stare al chiuso o in automobile per tanto tempo prima di una gara. Per evitare l'O<sub>3</sub>, nelle giornate estive o assolate evitare di fare esercizio nelle ore di maggiore esposizione solare, privilegiando la mattina e la sera. In generale è utile controllare i bollettini di previsione e di stato corrente del livello di qualità dell'aria, e pianificare di conseguenza la corsa, se non evitarla proprio.<sup>46</sup> Inoltre, una dieta ricca di antiossidanti o l'assunzione di antiossidanti tramite integratori, aiuta a combattere gli effetti avversi dell'inquinamento e i danni provocati ai polmoni dall'ozono di

41. Linsey C. Marr e Matthew R. Ely, «Effect of Air Pollution on Marathon Running Performance», *Medicine & Science in Sports & Exercise* 42, n. 3 (marzo 2010): 585–91, <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b84a85>.

42. Carlisle, «Exercise and Outdoor Ambient Air Pollution».

43. Ibi.

44. Luisa V. Giles e Michael S. Koehle, «The Health Effects of Exercising in Air Pollution», *Sports Medicine* 44, n. 2 (febbraio 2014): 223–49, <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0108-z>.

45. Ibi.

46. Carlisle, «Exercise and Outdoor Ambient Air Pollution».

superficie. I soggetti fragili come anziani, bambini, asmatici, e chi abbia condizioni di fragilità cardiovascolare, devono usare particolare precauzione nel ridurre l'esposizione, portare con sé eventuali medicinali come gli inalatori se prescritti, e prestare particolare attenzione ai livelli di inquinanti segnalati. È sempre consigliabile per questi individui di consultare un medico per pianificare la loro corsa.<sup>47</sup>

47. Giles e Koehle, «The Health Effects of Exercising in Air Pollution».



Figura 20 - Fonte: Inti St Clair/Getty Images/Tetra images RF

**3.0**  
DISPOSITIVI  
DI PROTEZIONE  
RESPIRATORIA  
PER I RUNNER

Già da prima della pandemia, ovvero prima della primavera del 2020, la necessità e la volontà di proteggere le vie respiratorie dallo smog aveva portato allo sviluppo di alcune soluzioni.

In Europa e negli Stati Uniti, queste si sono concretizzate soprattutto nella fattispecie di maschere filtranti rivolte al pubblico dei commuters, ovvero di chi compie regolarmente un tragitto per spostarsi tra la propria abitazione e il posto di lavoro.

Molti commuter, esclusi coloro i quali usano l'automobile o i soli mezzi pubblici, usano la bicicletta, il motorino, data anche la crescente disponibilità di servizi di sharing relativi a queste due categorie di mezzi di trasporto, o si spostano a piedi. Essi sono esposti allo smog in modo diretto ed intensivo, trovandosi nel mezzo del traffico cittadino per un lasso di tempo non trascurabile ogni giorno.

Le maschere filtranti rivolte ai commuter sono una categoria ampia, e sono rimasti tuttavia una nicchia, dal momento che non è mai avvenuta una loro adozione su larga scala, sia per una questione di estetica (indossare una maschera fino al 2020 conferiva facilmente un aspetto eccentrico), sia per una questione di consapevolezza (i commuter in bici o a bordo di un ciclomotore sono abituati alla presenza inevitabile dello smog e non si preoccupano delle sostanze che respirano, non risultando un immediato e auto-evidente effetto sul loro organismo).

Non va dimenticato anche il fattore comfort: se durante la stagione fredda ciclisti, motociclisti e pedoni coprono naso e bocca per ripararsi dal freddo, risulta più facile indossare una maschera filtrante, che mantiene il viso riparato, mentre durante la stagione calda, la stessa mascherina risulterà insopportabile da indossare.

## 3.1 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

Non solo maschere filtranti: esistono diversi tipi di dispositivi di protezione respiratoria, definiti Dispositivi Individuali di Protezione (DPI) delle vie respiratorie. Come altri DPI, sono definiti e normati da una legislazione apposita, che ha il compito di assicurare la protezione adeguata nello svolgere determinate attività, e il loro uso rientra nelle normative per la sicurezza sul lavoro. Essi si dividono in due macrocategorie: dispositivi **attivi** e dispositivi **passivi**.

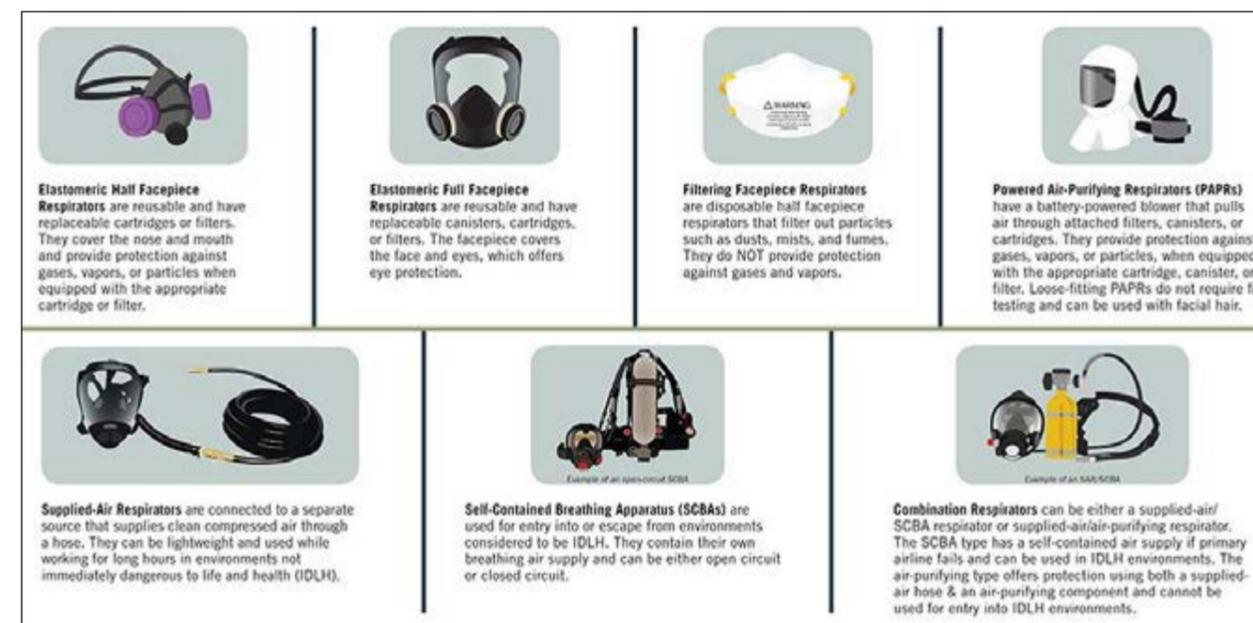


Figura 21

I dispositivi passivi sfruttano l'azione dell'apparato respiratorio dell'utente stesso, facendo sì che venga frapposto un filtro davanti alle vie aeree. Con la respirazione, l'aria dell'ambiente è forzata attraverso il materiale filtrante. I dispositivi passivi sono disponibili in diversi gradi possibili di efficacia, sono più leggeri e trasportabili di quelli attivi anche se alcune categorie sono più ingombranti sul viso, sono meno costosi di quelli attivi, e comunque caratterizzati da minor comfort respiratorio.

I dispositivi attivi si basano su un ventilatore, azionato da una batteria ricaricabile, che aspira aria dall'ambiente circostante, o estrae aria dall'ambiente interno ad una maschera o un cappuccio di sorta. Questi dispositivi necessitano di essere avviati per funzionare, e dipendono poi dalla durata della batteria. I sistemi attivi garantiscono il maggior grado di comfort respiratorio, dal momento che non affaticano l'apparato respiratorio, ma comportano il trasporto di un dispositivo composto da batterie, ventilatore e filtro, dal peso non trascurabile.

Dispositivi passivi:

- Facciali filtranti monouso
- Semimaschere con filtro
- Maschere pieno-facciali con filtro

I facciali filtranti sono dispositivi realizzati in materiale filtrante. Coprono naso, bocca e mento, e vanno sostituiti interamente quando perdono la loro efficacia. Sono suddivisi in categorie che ne descrivono l'efficacia e la tipologia di protezione. I facciali

Figura 21  
Tipologie di dispositivi individuali di protezione delle vie respiratorie.  
Fonte: Centers for Disease Control and Prevention

filtranti antipolvere sono regolati dalla normativa UNI EN 149 e sono classificati nelle categorie FFP1, FFP2, FFP3, dove FF sta per facciale filtrante, P indica la protezione dalla polvere, e i numeri si riferiscono al grado di filtrazione del materiale: >80%, >94%, >99%.<sup>48</sup>

I facciali filtranti antigas e combinati filtrano gas e vapori, e le loro caratteristiche sono definite da opportune sigle, come definito dalla normativa UNI EN 405. La lettera A indica che garantiscono una protezione antigas, e l'eventuale aggiunta della lettera P indica la protezione combinata antigas e antipolvere. I facciali filtranti possono avere una o più valvole di sfianto per ridurre la resistenza respiratoria durante l'espiazione.

Le mascherine chirurgiche o igieniche, invece, non sono classificate come DPI, e non proteggono chi le indossa. Lo scopo di queste mascherine è di evitare che chi le indossa contamini l'ambiente circostante emettendo aerosol che trasportino batteri e virus. Le mascherine chirurgiche sono dispositivi medici, regolamentate dal D.Lgs 46/97.

Le semimaschere sono dispositivi regolati dalla normativa UNI EN 140, sono riutilizzabili, realizzati in materiale polimerico che assicura una elevata aderenza al viso, e coprono naso bocca e mento. Sono dotati di una o più valvole di espiazione e di alloggiamenti per inserire uno o più filtri sostituibili.

Le maschere pieno-facciali sono definite dalla normativa UNI EN 136, sono dispositivi riutilizzabili su cui vengono montati filtri sostituibili. Oltre a coprire naso bocca e mento, sono dotati anche di una visiera di protezione degli occhi, fissata ad una struttura a tenuta stagna che crea attorno all'intero viso un ambiente isolato dall'atmosfera circostante. La normativa relativa definisce il grado di protezione che la visiera deve garantire non solo rispetto a polveri e gas, ma anche dall'impatto di schegge.

Dispositivi attivi:

- Maschere pieno-facciali e semimaschere o cappucci, collegati ad un ventilatore motorizzato dotato di filtro, chiamati in inglese Powered Air-Purifying Respirators.
- Maschere senza filtro, generalmente pieno-facciali, collegate ad una fonte di aria incontaminata, come un impianto o una bombola d'ossigeno.

I PAPR sono definiti dalla normativa UNI EN 12941, che li chiama elettro-respiratori a filtro. La normativa definisce anche i test che tali dispositivi devono superare, in termini di durata della batteria e di flusso d'aria garantito. I PAPR conformi alla normativa devono garantire un flusso minimo di 120l/min, ad una pressione massima di 5bar, la batteria non deve durare meno di 4h, il flusso e la portata dell'aria non devono creare disagi. Sono molto stringenti anche i test che il tubo di collegamento tra maschera/cappuccio/elmetto e dispositivo filtrante: se applicato un dato

48. «Protezione delle vie respiratorie», consultato 17 marzo 2022, <https://www.inail.it/cs/Satellite?c=Page&cid=2443085356137&d=68&pagina-me=Internet%2FPagina%2FpaginaFoglio%2Flayout>.

carico, il tubo non deve deformarsi in modo irreversibile, e non deve verificarsi una riduzione del flusso d'aria sotto il 5% della portata minima. Il dispositivo non deve produrre un rumore superiore a 75dB quando in funzione, e il suo peso non può superare i 5kg. La batteria contenuta nel dispositivo non può superare gli 1.5kg di peso.

I filtri sono elementi che garantiscono il filtraggio dell'aria che entra nel DPI su cui sono montati, sia attivo che passivo, trattengono le sostanze nocive. Necessitano di essere sostituiti quando perdono efficacia, e devono essere smaltiti adeguatamente. I filtri antipolvere trattengono le particelle solide, sono definiti dalla normativa UNI EN 143, e sono classificati come per gli analoghi facciali filtranti, con le sigle P1, P2, P3. I filtri antigas trattengono vapori e gas, sono definiti dalla normativa UNI EN 141, e come per i relativi facciali filtranti, hanno sigle composite in base alle caratteristiche di protezione, e la sostanza da cui garantiscono protezione è indicata con un codice colore universale e una lettera associata. La crescente capacità filtrante è indicata dai numeri crescenti 1, 2 e 3.

Colorazione	Tipo	Applicazione	Classe	Massima concentrazione di gas	Norma
A	A	Gas e vapori organici [con punto d'ebollizione > 65°C]	1	1000 ml/m <sup>3</sup> [0,1 Vol.-%]	EN 141 o EN 14387
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> [0,5 Vol.-%]	
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> [1,0 Vol.-%]	
B	B	Gas e vapori inorganici [non CO], [ad es. cloro, H <sub>2</sub> S, HCN...]	1	1000 ml/m <sup>3</sup> [0,1 Vol.-%]	EN 141 u EN 14387
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> [0,5 Vol.-%]	
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> [1,0 Vol.-%]	
E	E	Anidride solforosa, gas e vapori acidi	1	1000 ml/m <sup>3</sup> [0,1 Vol.-%]	EN 141 o EN 14387
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> [0,5 Vol.-%]	
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> [1,0 Vol.-%]	
K	K	Ammoniaca e derivati organici dell'ammoniaca	1	1000 ml/m <sup>3</sup> [0,1 Vol.-%]	EN 141 o EN 14387
			2	5000 ml/m <sup>3</sup> [0,5 Vol.-%]	
			3	10000 ml/m <sup>3</sup> [1,0 Vol.-%]	
AX	AX	Gas e vapori organici [punto d'ebollizione < 65°C] dei gruppi di sostanze a basso punto d'ebollizione 1 e 2	Gr. 1	[100 ml/m <sup>3</sup> max. 40 min.]	EN 371
			Gr. 2	[500 ml/m <sup>3</sup> max. 20 min.]	
NO-P3	NO-P3	Ossidi d'azoto, ad es. NO, NO <sub>2</sub> , NOX	Gr. 1	[1000 ml/m <sup>3</sup> max. 60 min.]	EN 141 o FN 14387
			Gr. 2	[5000 ml/m <sup>3</sup> max. 20 min.]	
Hg-P3	Hg-P3	Vapori di mercurio	-	Tempo massimo di utilizzo 50 ore	EN 141 o EN 14387
CO*	CO*	Monossido di carbonio	-	Norme nazionali	DIN 58620 EN 14387
Reactor P3*	Reactor P3*	Iodio radioattivo	-	Norme nazionali	DIN 3181*
P	P	Particelle [polveri]	1	Efficienza bassa	EN 141 o EN 14387
			2	Efficienza media	
			3	Efficienza alta	

\*solo colorazioni e tipi standardizzati

Figura 22

Figura 22

Scheda tassonomica dei filtri respiratori secondo la normativa 89/686/CEE

Fonte: Tooleader.com

## 3.2 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE UTILIZZATI DAI RUNNER

Correre coprendo le vie respiratorie è un comportamento riscontrabile nei mesi freddi, quando alcuni runner indossano uno scaldacollo o una fascia di sorta calzata su bocca e naso, come modalità per scaldare l'aria respirata attraverso la bocca, e ridurre l'irritazione alle vie aeree causata dall'inalazione di aria fredda durante la corsa.

49. «Mascherine e ritiri: lo smog di Pechino rovina la maratona», *Green.it* (blog), 1 novembre 2014, <https://www.green.it/smog-pechino-maratona/>.

Figura 23  
Un podista della maratona di Pechino del 2014, corre indossando una maschera semifacciale con filtri anti-polvere.  
Fonte: Reuters



Figura 23

La scelta di adottare tale soluzione è molto personale, sebbene si tratti di una pratica diffusa.

È invece difficile che un runner scelga di coprire le vie respiratorie con un materiale filtrante, che sia uno scaldacollo o un facciale filtrante, per proteggersi dallo smog. Tali soluzioni infatti risultano solo parzialmente efficaci, e comportano grande disagio respiratorio, che oltretutto aumenta con l'aumentare dell'affanno del runner, ovvero man mano che il materiale filtrante raccoglie umidità dal respiro, di fatto aumentandone la resistenza respiratoria.

Un caso rilevante è stato quello già citato della maratona di Beijing svoltasi nel 2014. In quella occasione, nonostante le precauzioni prese dalle autorità cittadine per ridurre i livelli di smog, questi erano rimasti molto elevati fino al giorno della competizione. Con livelli di PM2.5 registrati di  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ , che corrispondono ad una qualità dell'aria molto pericolosa, (cfr. Figura 11 - USA-QUI), molti atleti hanno rinunciato a correre, mentre altri hanno corso indossando maschere protettive di vario genere.<sup>49</sup>

È stato solo con l'avvento della pandemia da Covid-19, ancora in corso al momento della stesura di questa tesi, che è sorta la necessità di indossare sistemi di protezione respiratoria durante l'attività fisica all'aperto. Oltre alle polemiche relative, e al moltiplicarsi di studi scientifici che sostenessero o meno l'uso della mascherina in questo frangente, è nata una nuova offerta di mascherine cosiddette sportive, ovvero pensate per essere indossate durante lo svolgimento di attività fisica, come la corsa.

### 3.2.1 MASCHERINE SPORTIVE PASSIVE

Le mascherine sportive si sono subito distinte per l'aspetto estetico, che si riferiva ai modelli estetici di materiali, colori e linee dell'abbigliamento sportivo, e per le prestazioni, in termini di bassa resistenza respiratoria, riusabilità, comodità e aderenza al viso, e grado di filtrazione. Si tratta di dispositivi passivi. I prodotti offerti hanno toccato diverse delle caratteristiche elencate, riuscendo a riunire tutte le caratteristiche solo in pochi casi. Generalmente si tratta di facciali filtranti con grado di filtrazione nella maggior parte dei casi non certificati. Il punto forte di questi prodotti sono la elevata traspirabilità e il look accattivante, spesso in linea con quello dell'abbigliamento dello stesso marchio, garantendo un look coordinato durante l'attività fisica, e una protezione non certificata ma ritenuta sufficiente (le legislazioni nazionali in materia di prevenzione della diffusione del contagio da Covid-19 non prevedono una certificazione di capacità filtrante per le mascherine indossate durante l'attività fisica all'aperto o al chiuso).

I modelli più popolari di maschere sportive lavabili:<sup>50</sup>

- Buff DryFix
- Underarmour Sportsmask
- Reebok Face Cover
- Uniqlo AIRism Face Mask
- Asics runners mask



Buff DryFix



Underarmour Sportsmask



Reebok Face Cover



Uniqlo AIRism Face Mask



Asics runners mask

50. Karen Iorio Adelson, «The Best Face Masks for Running Outside», *The Strategist*, 18 gennaio 2022, <https://nymag.com/strategist/article/best-face-masks-for-running.html>.

I modelli più popolari di maschere sportive con filtro sostituibile:<sup>51</sup>

- Airnum Lite air mask
- BlueBear ProSport Mask with Nano-Filter
- Brave New Look Geometric Cloth Mask (with PM2.5 Filter)



Lite air mask



BlueBear ProSport Mask



Brave New Look Mask

### 3.2.2 CORRERE CON LA MASCHERINA: CONSIDERAZIONI

Si è parlato in modo diffuso di correre indossando un qualche tipo di facciale filtrante per la prima volta dopo il primo lockdown, quindi nella tarda primavera del 2020, quando l'attività fisica era una delle poche consentite all'aperto, ed era previsto il suo svolgimento senza mascherina, con l'obbligo di mantenere il distanziamento sociale.<sup>52</sup>

La possibilità di avere una protezione più affidabile o la constatazione della difficoltà a mantenere il distanziamento sociale, hanno dato luogo ad un acceso dibattito nel nostro e in altri paesi sul tema del correre con la mascherina. Al momento in cui si scrive, il tema non è più attuale, e questo permette di circoscrivere il fenomeno, per quanto riguarda il nostro paese, tra la primavera del 2020 alla primavera del 2021, quando sono state riaperte le palestre introducendo la sola regola del distanziamento sociale. A quella data, la campagna vaccinale contro il Covid-19 era iniziata da alcuni mesi, e gli effetti positivi su decessi ed ospedalizzazioni hanno portato ad iniziare la ripresa delle attività sportive con una attenzione particolare al distan-

51. Camille Hove Galla Taylor, «The 26 Best Face Masks for Running, Cycling & Working Out: Under Armour, Rhone, Adidas», *SPY (blog)*, 26 gennaio 2022, <https://spy.com/articles/gear/accessories/best-face-masks-cycling-running-251320/>.

52. «Dopo l'ultimo decreto del governo, è possibile andare a correre?», *La Gazzetta dello Sport*, 12 marzo 2020, <https://www.gazzetta.it/running/news/12-03-2020/decreto-governo-sport-aria-aperta-corsa-spiegazione-norme-63629.shtml>.

ziamento piuttosto che all'uso delle mascherine, facendo perdere rilievo alle mascherine sportive.

Nel periodo di successo di questi prodotti, tra chi supportava l'adozione di qualche tipo di mascherina che coprisse naso e bocca durante la corsa vi erano coloro i quali sostenevano che coprire le vie respiratorie non inficiasse l'assorbimento di ossigeno, e che avesse un impatto minimo sul comfort e sulla performance, a fronte della possibilità di non interrompere il circolo virtuoso di pratiche per la riduzione del contagio, e di proteggersi anche dallo smog cittadino. I detrattori invece puntavano il dito contro l'uso della mascherina citando l'affaticamento dell'apparato respiratorio, la sensazione di oppressione, la concentrazione di sudore e condensa sotto la mascherina, la riduzione del livello di saturazione di ossigeno nel sangue.

Alcune ricerche scientifiche sono d'aiuto per presentare i dati raccolti da test effettuati su atleti che hanno svolto attività fisica indossando la mascherina. Uno studio della primavera del 2021 ha coinvolto 31 adulti (14 uomini e 17 donne) di età compresa tra i 18 e i 29 anni, in test di capacità respiratoria durante sessioni di corsa su tapis roulant, con e senza mascherina. I risultati evidenziano che indossare la mascherina porta ad una riduzione del tempo per il quale si riusciva a svolgere l'esercizio del 14%, correlato ad un minore consumo di ossigeno del 29%, minore battito cardiaco massimo, ed una maggiore dispnea. In generale quindi una performance peggiore, ma che non lasciava poi effetti sull'organismo dopo sette minuti di recupero, a dimostrazione che se è necessario si può fare un allenamento indossando una mascherina, ma che questo vada calibrato considerando un maggiore affaticamento.<sup>53</sup>

È esemplare anche il caso di un medico di una terapia intensiva in Inghilterra che ha deciso di fare un esperimento su di sé, andando a correre, senza essere allenato, con indosso una mascherina di tela a tre strati, e misurando la propria saturazione del sangue. Nonostante il comprensibile maggior disagio, la sua saturazione non è scesa.<sup>54</sup>

Queste evidenze dimostrano che il sistema cardio-circolatorio di un individuo sano è in grado di adattarsi a condizioni di affaticamento sopraggiunte e che, se necessario, si può correre indossando un facciale filtrante, a patto di voler sopportare maggiore disagio, sensazione di oppressione, e un calo della performance: un compromesso che in alcuni casi potrebbe fare la differenza tra una vita sedentaria e una invece attiva: a questo proposito non dobbiamo dimenticare i benefici per la salute menzionati nei capitoli precedenti che derivano dal praticare running.

53. Simon Driver et al., «Effects of Wearing a Cloth Face Mask on Performance, Physiological and Perceptual Responses during a Graded Treadmill Running Exercise Test», *British Journal of Sports Medicine* 56, n. 2 (gennaio 2022): 107–13, <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103758>.

54. «Dr. Tom Lawton Ran 22 Miles in a Mask To Prove A Point», *Runners Connect*, consultato 22 febbraio 2022, <https://runnersconnect.net/running-interviews/dr-tom-lawton-ran-22-miles-in-a-mask-to-prove-a-point/>.

### 3.2.3 MASCHERE ATTIVE

Proprio per contrastare il disagio dell'indossare un facciale filtrante, a maggior ragione in circostanze che comportano una attività più intensa dell'apparato respiratorio come la corsa, sono nati diversi modelli di maschere attive. Questi prodotti si basano sull'installazione di un piccolo dispositivo costituito da una batteria ricaricabile al litio e una o due piccole ventole, su di una mascherina in materiale filtrante, o alternativamente su di una maschera semi-facciale rigida, sulla quale viene installato un filtro in corrispondenza della o delle ventole. Il dispositivo aspira aria dall'esterno attraverso il materiale filtrante o il filtro, facilitando l'inspirazione, mentre l'espiazione avviene normalmente, o attraverso il materiale filtrante stesso, o attraverso una valvola che si solleva con la pressione esercitata dall'aria espirata all'interno della maschera, che permette di espellere l'esalato dalla semimaschera senza far entrare l'aria circostante.

Questi prodotti sono tendenzialmente legati al mercato asiatico, e non hanno mai veramente spopolato in Europa o negli Stati Uniti, non solo, non sono mai stati realmente disponibili in commercio, almeno fino al momento in cui si scrive. Una eccezione particolare è costituita dalla Urban Mask di Narvalo S.r.l., disponibile globalmente tramite acquisto online, e che usa un dispositivo come quello descritto precedentemente, ma che entra in funzione quando viene rilevato un aumento di pressione nella maschera (costituita da un facciale filtrante FFP3 prodotto da BLS S.r.l. a bassa resistenza respiratoria), e invece di aspirare, estrae dalla maschera l'aria espirata, riducendo l'accumulo di condensa e il calore del proprio respiro.

L'approccio utilizzato in questi prodotti è innovativo e unisce i pregi dei sistemi attivi e passivi fin ora illustrati. Le maschere attive fanno proprio il funzionamento dei sistemi attivi come i PAPR, basati su batteria ricaricabile, ventilatore e filtro, integrandoli con un facciale filtrante o con una maschera semi-facciale, ovvero tipologie di maschere diffuse, con un'estetica più familiare, dal peso ridotto e pratiche da usare.

### 3.2.4 BENCHMARK

La ricerca si è concentrata su questo tipo di prodotti, dal momento che si pongono come concorrenti del concept di dispositivo su cui pone le proprie basi il progetto di tesi ideato per BLS e di cui si è accennato nell'introduzione. Una maschera filtrante attiva è un prodotto ideale per essere usato durante la corsa, dal momento che supera i principali limiti dei facciali filtranti e delle maschere semi-facciali, ovvero l'elevata resistenza respiratoria dei primi e l'ingombro dei secondi, nonché dei PAPR, molto costosi e per niente pratici da utilizzare mentre si svolge attività motoria. Non è un caso se il prodotto di Narvalo attualmente in commercio è proprio una maschera passiva a cui può essere applicato un dispositivo che la rende attiva, nella modalità a cui abbiamo accennato in precedenza.



Figura 24

Dopo aver ricercato l'offerta di mercato, i prodotti ritenuti più validi, selezionanti escludendo concept e progetti dimostrativi, a favore di prodotti reperibili online, sono stati messi a confronto in uno schema che ne evidenziasse le caratteristiche, di funzionalità (se aspirano o estraggono aria), e di tipologia di filtro che

Figura 24  
Benchmark delle principali mascherine respiratorie attive sul mercato

usano (a cartuccia o facciale filtrante).

I sei prodotti di maggior successo e con caratteristiche di unicità sono stati ulteriormente messi a confronto, valutandone le caratteristiche tecniche in maggiore dettaglio, nonché il costo complessivo dei prodotti.

	Xupermask	Atmo Blue	Moksha Mask	LG PuriCare	Halo	Philips Blaise
Modalità ventola	Aspirazione	Aspirazione	Asp. / Estr.	Aspirazione	Aspirazione	Estrazione
Batteria	730mAh	3-5 ore	3600mAh	1000mAh 8 ore	9 ore	3,5 ore
Peso complessivo	300g	190g	100g (solo maschera)	125g	350g	35g
Flusso aria	-	-	~30 l/min	10 - 55 l/min	230 l/min	41 l/min
Numero ventole	2	2	2	2	1	1
Filtrazione sfiato	Si	No	Si	No	No (opzionale)	Si
Numero filtri	3	2	2	2	1	1
Tipologia filtro	H12 HEPA	HEPA	N95	H13 HEPA	HEPA	N95
Durata filtro	1 mese	150h, 4-6 sett.	2 al mese	2 al mese x8 h/d	-	~ 56h
Prezzo maschera	299\$	140€	38€	148€	942\$	40\$
Prezzo filtro	3x 28\$	6x 39€	2x 0,20€	2x 7,20€	3x 70\$	5x 16€
Funzionalità aggiuntive	mic + speaker, BLE, velocità ventola, cuffie	BLE, app	batteria + device separati, fascia braccio	mic + speaker, custodia ricarica + steril. UV, BLE	compensazione altitudine, AirSensit	-

Figura 25 - Benchmark delle caratteristiche delle sei mascherine attive dalle caratteristiche più rilevanti



Xupermask

Atmo Blue

LG PuriCare

Philips Blaise

4.0  
INDAGINE  
SUGLI UTENTI

La ricerca sui dispositivi di protezione delle vie respiratorie rivolti a chi vuole proteggersi dallo smog quando fa running in città si è arricchita di una indagine sugli utenti. Un report di Nielsen Sport del 2021<sup>55</sup>, e che ha raccolto dati presso 8414 individui in dieci diversi paesi.

Il running è uno sport praticato in egual modo da persone di ambo i sessi, otto persone su dieci intervistate si definiscono runners, e il 30% di questi corre almeno una volta alla settimana. Le persone che si definiscono runners hanno alcuni spiccati tratti della personalità in comune: sono persone dal carattere positivo, orientate alle relazioni ed ottimiste. È rilevante ancora una volta l'impatto che ha avuto la pandemia da Covid-19 sulle tematiche oggetto di questa ricerca: il 13% delle persone intervistate affermano di aver cominciato a praticare running a partire da aprile 2020, e il 9% asserisce che la pandemia ha giocato un ruolo nel prendere la decisione di iniziare a correre, non solo: non intende smettere anche quando finirà la pandemia.

Oltre a questi dati ne sono stati raccolti altri, strettamente pertinenti alla tematica del running in ambienti urbani inquinati. I dati sono stati raccolti tramite un questionario anonimo, realizzato in italiano e in inglese e diffuso internazionalmente tramite la piattaforma social Reedit.com, e localmente presso alcuni iscritti alla società sportiva DKRace<sup>56</sup>.

Per quanto concerne l'indagine a livello internazionale, sono state individuate le pagine della piattaforma social Reddit, relative a tematiche pertinenti all'indagine, quindi che riunissero comunità di runner, provenienti da svariate parti del mondo e dall'Italia. In questo modo è stato possibile raccogliere informazioni attendibili da un campione di quarantotto runner internazionali, e di tredici runner italiani.

Le domande poste nel questionario, a risposta multipla, avevano tre principali ambiti di indagine:

- In quali luoghi si preferisce andare a correre e perché.
- Quale consapevolezza si abbia della presenza o meno dell'inquinamento atmosferico.
- Cosa si porta con sé durante la sessione di corsa.

Lo scopo di queste domande era innanzitutto capire i bisogni e le abitudini dei runner, dati importanti per progettare un prodotto rivolto ad essi, nonché di portare avanti la ricerca fatta sullo smog e sui danni per la salute che provoca ai runner, considerando la consapevolezza che i runner hanno dei rischi che corrono, e se l'inquinamento atmosferico in città determina comportamenti specifici, per evitarlo o per proteggersi da esso.

55. «recreational running consumer research study\_Nielsen.pdf», worldathletics.org.

56. «DKRace: corse running», consultato 21 marzo 2022, <https://www.dkrace.it/index.php>.

## 4.2 LE ABITUDINI DEI RUNNER

Le risposte permettono di avere una panoramica molto interessante:

Il 35.4% dei runner internazionali intervistati corre più di quattro volte a settimana, seguiti dal 31.3% che corre tre volte a settimana. Tra i runner italiani, il 30.8% va a correre più di quattro volte a settimana, e ugualmente un altro 30.8% va a correre solo due volte a settimana.

Questo nonostante l'81.3% dei runner internazionali si definisca un runner amatoriale; di contro i runner italiani si dividono abbastanza equamente tra jogger, amatori e agonisti, con una leggera prevalenza di amatori (38.5%).

Il momento preferito della giornata per andare a correre è la prima mattina tra le 6:00 e le 9:00 per metà dei runner internazionali (54.2%), seguito dal tardo pomeriggio tra le 15:00 e le 18:00 (37.5%). I runner italiani prediligono invece grandemente il periodo serale tra le 18:00 e le 21:00, che coincide con il periodo appena successivo al termine dell'orario lavorativo.

I luoghi preferiti dai runner internazionali sono le zone di verde urbano e le zone prevalentemente urbane (correre sul marciapiede), con una preferenza del 66.7% e 45.8%, rispettivamente. I runner italiani preferiscono anch'essi i due medesimi ambienti, con una prevalenza di preferenze per le sole aree di verde urbano.

Sul tema della consapevolezza dell'inquinamento atmosferico circostante, gli stranieri si sono rivelati protendere verso l'essere generalmente informati, divisi tra non informati (39.6%), spesso informati (37.5%) e non molto informati (22.9%). Tra gli italiani prevale grandemente la categoria dei non molto informati, il 61.5% del totale, mentre solo il 23.1% non si informa.

L'inquinamento atmosferico durante la corsa in città è avvertito in modo più netto dai runner italiani quando entrano o escono da una area di verde (53.8%), mentre tra gli internazionali è rilevante, anche se in misura minore, più che altro il momento del transito vicino al traffico veicolare (37.5%).

L'inquinamento atmosferico non influisce sulla scelta del tragitto da percorrere durante l'allenamento per la maggior parte degli internazionali (68.8%), mentre in modo meno marcato ma co-

munque preponderante per gli italiani, tra i quali però il resto del campione (46.2%) afferma di scegliere zone di verde per evitare l'inquinamento, mentre solo 18.8% degli internazionali è della stessa opinione.

Escluso invece l'inquinamento, gli italiani desistono dall'andare a correre prevalentemente in caso di brutto tempo particolarmente avverso, citando per prima la neve, e poi in caso di caldo umido. Tra gli internazionali il principale deterrente è invece il sole cocente, seguito da caldo umido e fondo scivoloso.

Nella scelta del tragitto da percorrere in allenamento vengono esclusi i luoghi trafficati, gli internazionali sono attenti anche a marciapiedi adeguati, mentre gli italiani anche al fatto che il percorso sia illuminato, coerentemente con il fatto che prediligono l'orario serale per andare a correre.

Il dispositivo da cui il runner non si può separare è lo smartwatch, seguito da smartphone con app di tracking, cuffie true wireless e fascia cardio per gli italiani, così come gli internazionali, che pure usano le cuffie true wireless e una app di fitness sullo smartphone ma in ordine di preferenza inverso rispetto agli italiani, con la differenza che viene citato anche l'uso di una lampada frontale, probabilmente tra coloro che vanno a correre la mattina presto.

Ovunque nel mondo, i runner sembrano essere d'accordo, con ordini di preferenza opposti, ma comunque con il maggior numero di preferenze, sul fatto che non si può andare a correre senza portare con sé lo smartphone e le chiavi di casa, e si trovano nella maggior parte dei casi a dover mettere nelle tasche dei pantaloncini ciò che portano con sé.

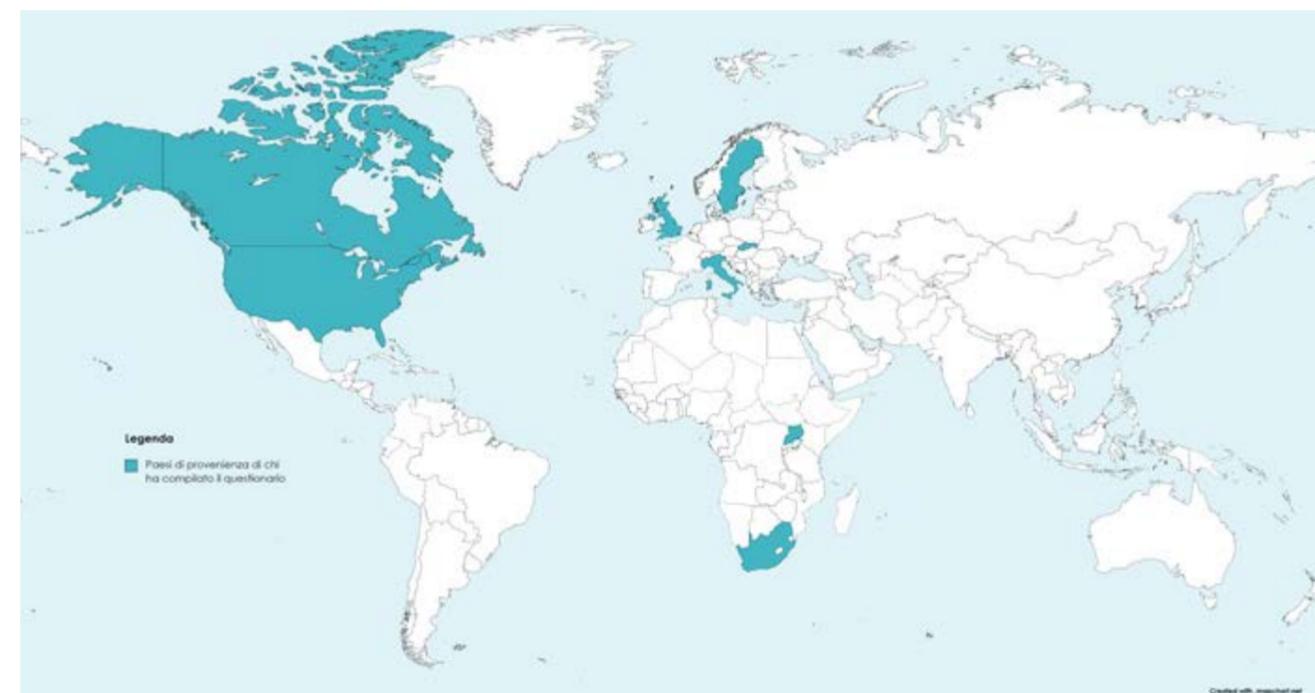


Figura 26

## 4.3 I BISOGNI DEL RUNNER

Dall'incrocio dei dati raccolti, e dall'osservazione empirica effettuata intraprendendo in prima persona numerose sessioni di corsa in città nell'arco dei mesi dedicati alla ricerca e allo sviluppo del progetto di tesi, risultano alcuni dati molto rilevanti ai fini della determinazione di quali siano i bisogni dei runner che corrono in un ambiente urbano.

Il principale bisogno è quello del comfort. Tale esigenza si traduce nella ricerca di abbigliamento ed accessori che siano comodi da indossare e che non provochino disagio durante lo sforzo prolungato della corsa: ad esempio scarpe comode, indumenti che non sfreghino contro la pelle e forniscano una adeguata termoregolazione. Legato al comfort è il tema della leggerezza: i runner cercano di caricarsi del minor peso possibile, dalle scarpe agli indumenti, a ciò che scelgono di portare con sé. Ogni carico superfluo peggiora la performance e rovina l'esperienza della corsa; pertanto, viene selezionato di volta in volta ciò che è essenziale portare con sé, in base alle condizioni esterne di temperatura, precipitazioni, illuminazione.

Il secondo bisogno è quello della sicurezza. I runner ricercano assicurazioni sulla propria incolumità e sicurezza quando vanno a correre, per potersi concentrare solo sulla attività motoria, mantenere il ritmo, respirare correttamente, e

Figura 26  
Mappa dei paesi di provenienza degli utenti di Reddit che hanno compilato il questionario online.

così rilassarsi e distrarsi. È importante per i runner urbani sapere di essere visibili da automobilisti e motociclisti, di avere con sé il proprio smartphone, con il quale restare in contatto con i propri congiunti ed essere reperibile da chiunque li voglia contattare. Proprio la ricerca dalla sicurezza spinge. Altro elemento legato alla sicurezza è non solo la sicurezza personale ma anche la sicurezza che i propri averi e accessori siano ben assicurati al proprio corpo mentre si corre, senza doversi preoccupare di poterli perdere accidentalmente.

La convergenza di queste esigenze emerge rispetto al tema dello smog, che è un elemento di pericolo, anche solo potenziale, e che crea disagio durante la corsa. Queste valutazioni sono tuttavia subordinate alla consapevolezza del grado di qualità dell'aria circostante, e al fatto di avvertire un effettivo disagio respiratorio. Questo non risulta essere frequente, e ciò che si verifica di conseguenza è che i runner si dividano tra chi adotta comportamenti o conservativi e chi no, rispetto situazioni effettivamente sperimentate, mentre risulta poco diffuso un atteggiamento preventivo o addirittura protettivo.

Accade così che i runner prediligano le aree di verde urbano per andare a correre, dal momento che questi luoghi ben rispondono alle loro esigenze di sicurezza, incolumità, e sembrano esulare dal preoccuparsi dello smog. Chi adotta soluzioni di protezione delle vie respiratorie lo fa solo per proteggersi dal freddo durante la stagione rigida, e chi non avverte particolari disagi non si preoccupa dello smog.

Quindi se da un lato c'è consapevolezza diffusa del fatto che respirare aria inquinata sia nocivo, con la scelta del luogo di allenamento fatta privilegiando altre esigenze, si finisce per trovare una soluzione soddisfacente a quella della salubrità dell'aria che si respira durante la corsa in città.



Figura 27 - LeoPatrizi | Getty Creative

## 5.0 PROGETTAZIONE

Dopo aver appurato la necessità da parte dei runners di proteggere il proprio organismo dalle sostanze inquinanti presenti nell'aria, e che respirano durante l'allenamento, dopo aver avuto conferma che un dispositivo di protezione attivo sia la tipologia di soluzione che può garantire il compromesso di elevata filtrazione e ridotto disagio per il runner, insieme con i partner tecnici BLS Group S.r.l e Narvalo S.r.l. sono state validate le caratteristiche fondamentali che il prodotto aveva assunto quando era stato realizzato il primo prototipo a luglio 2020.

È stata ritenuta vincente l'architettura di base del prototipo, costituito da una pettorina in tessuto tecnico e da un piccolo depuratore d'aria. L'aspetto complessivo del sistema è quello di un indumento sportivo, favorendone l'accettazione sociale e inserendosi facilmente nell'insieme dei vestiti specifici per fare sport, grazie ai materiali utilizzati, ai colori scelti, e al look ispirato ai top e agli scaldacollo sportivi. Inoltre, le parti in tessuto sono estremamente leggere, confortevoli a contatto con il corpo, nonché separabili dal dispositivo a fine allenamento, per essere lavate.



Figura 28

L'indumento del prototipo funge da sistema di fissaggio del dispositivo al corpo, e comprende un bavero che può essere indossato a coprire naso e bocca come uno scaldacollo. Questo speciale scaldacollo viene riempito d'aria filtrata dal depuratore, andando a formare una sorta di PAPR innovativo e leggero. Le prove di cor-

Figura 28  
Test d'uso del prototipo 1.0

sa eseguite con indosso il prototipo hanno evidenziato una serie di limiti dello stesso, che sono stati accuratamente evidenziati per essere affrontati in fasi di progettazione.

In particolare, il dispositivo, posizionato in una tasca posta sul petto della pettorina, a causa del suo peso abbastanza rilevante (circa 400g), e del fissaggio non ottimale, dopo pochi minuti cominciava a rimbalzare fastidiosamente contro il petto ad ogni passo, richiedendo di regolare spesso le cinghie di ritenzione.

Lo scaldacollo/maschera invece, nonostante da un lato fosse estremamente comodo da indossare, e non avesse perdite d'aria nella parte di aderenza al volto e alla nuca, presentava tuttavia diversi problemi, collassando sotto la pressione dell'aria che premeva contro di esso durante la corsa, e soprattutto quando la respirazione si faceva più frequente, con l'aumento di intensità dello sforzo, o ad ogni movimento del capo a destra e sinistra, per esempio attraversando la strada.

Il filtro, infine, non era mai stato validato in modo definitivo, con il risultato che era stato realizzato un filtro artigianale incollando tra loro per il fianco e sagomando due mini-filtri HEPA del formato che usano i robot aspirapolvere. Occorreva invece assicurarsi che il dispositivo potesse essere usato con un filtro di produzione di BLS, e che il ventilatore e il filtro fossero adeguatamente dimensionati per garantire un flusso d'aria sufficiente, anche in momenti di elevato consumo d'aria sotto sforzo più intenso.

## 5.1 BRIEF DI PROGETTO

Preso atto della necessità di riprogettare alcuni aspetti e di individuare nuovi componenti, è stato definito in accordo con i partner tecnici lo scopo del progetto, ovvero

creare un respiratore a pressione positiva, per i runner che vogliono proteggersi da inquinamento, pollini e polveri, adeguato all'attività respiratoria dei runner, comodo e leggero.

## 5.2 IL NUOVO CONCEPT

Sulla scorta della ricerca compiuta, e a partire dalle evidenze raccolte con la realizzazione del primo prototipo, il nuovo percorso progettuale è proseguito mettendo in discussione gli elementi costitutivi del prodotto e la loro disposizione, per individuare quali soluzioni potessero essere state inizialmente escluse e non si rivelassero invece preferibili alla luce dei nuovi dati. Il lavoro di revisione del progetto si è concentrato su quattro fronti:

- Determinazione del posizionamento più adeguato del dispositivo sul corpo del runner
- Ottimizzazione della maschera in tessuto che raccoglie l'aria filtrata.
- Messa a punto di soluzioni che permettessero l'integrazione del dispositivo con un sistema di ritenzione indossabile.
- Individuazione delle specifiche tecniche sulla base delle quali selezionare i componenti del dispositivo depuratore d'aria.

Il primo passo è stato fatto nella direzione di progettare un sistema che fosse unisex, e questo passava necessariamente dallo spostare il purificatore d'aria, che nel prototipo era posizionato sul petto, e sarebbe stato molto scomodo dalle utenti con un seno minimamente sviluppato.

Inizialmente si è pensato di riprogettare il purificatore d'aria dividendolo in due parti, collegate da un cavo elettrico. Questi due dispositivi, più compatti e leggeri di uno unico, avrebbero permesso di posizionare il dispositivo dividendone i volumi sulle spalle, posizionati comunque sempre anteriormente, allontanandoli dalla zona del seno. Tale layout è ispirato ai dispositivi di alcune mascherine attive come Philips Blaise, Philips Lite me Up e Fusion M10Pro, che sono separati in due volumi, uno che comprende la batteria ricaricabile e uno che comprende il ventilatore e il tasto di accensione e spegnimento. Questa soluzione è stata successivamente abbandonata, man mano che da un lato si delineava sempre più chiaramente il filtro prodotto da BLS, in termini dimensionali, e dall'altro era emerso che la maggior parte del peso sarebbe rimasta nella metà con la batteria. Questo avrebbe portato ad uno squilibrio dei pesi e dei volumi portati sulle spalle dall'utente, che avrebbe avuto su una spalla un volume comprendente un filtro di dimensioni maggiori di quello del prototipo, e un collettore per portare l'aria filtrata ad una maschera che si sarebbe gonfiata passivamente, risultando in un volume ingombrante anche se relativamente leggero, e localiz-

zato proprio vicino al volto. Sull'altra spalla si avrebbe avuto un volume compatto ma pesante, costituito praticamente dalla sola batteria e da un tasto di controllo del dispositivo. Tale scenario è stato ritenuto altamente indesiderabile, proprio a fronte dall'esigenza di massimo comfort da parte del runner, non disposto a sacrificare l'equilibrio della postura durante la corsa.

Figura 29  
Studi preliminari dei componenti del prodotto nel layout "a zaino"

Figura 30  
Percorso del flusso d'aria nel prodotto con il nuovo layout a zainetto

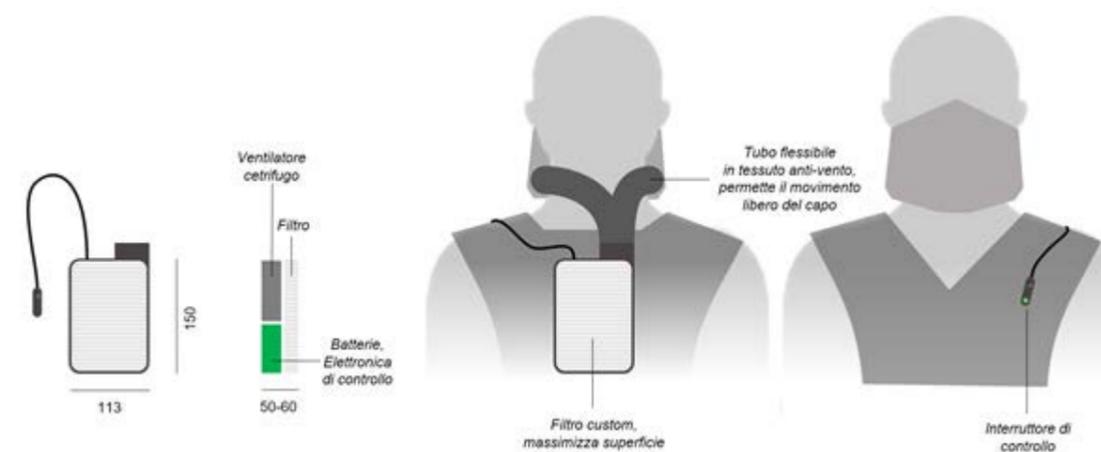


Figura 29

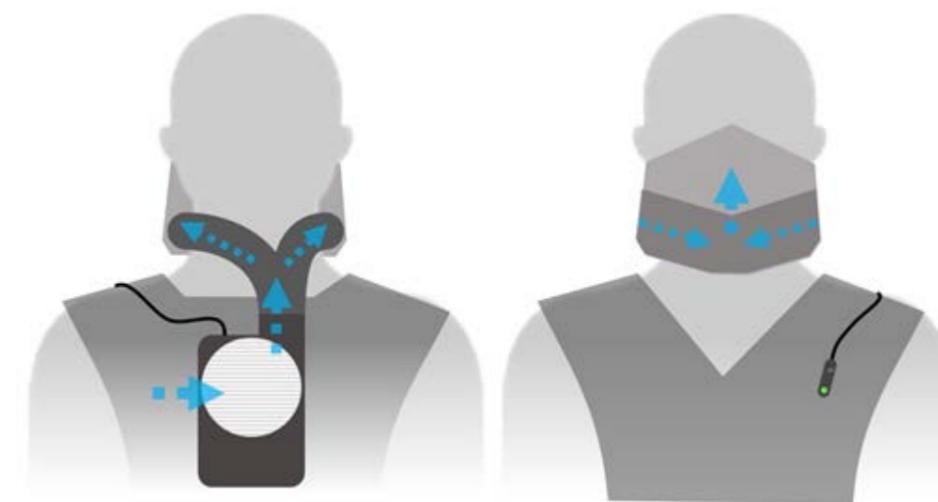


Figura 30

Il posizionamento del purificatore d'aria sulla schiena ha determinato il consolidamento del layout del prodotto. È stato possibile progettare il purificatore d'aria come uno zaino, da indossare sulla schiena e dotato di spallacci e cinghie di regolazione. È stato recuperato lo spunto della pettorina, corroborato da una ricerca sull'abbigliamento da running, trasformando lo zainetto in un gilet da running, regolabile, dotato di tasche e a cui si può fissare il dispositivo. Il collegamento tra gilet e dispositivo deve essere reversibile, per separarli e permettere di ricaricare la batteria dell'uno e lavare l'altro. Questo layout permette una equa distribuzione dei pesi e un'aderenza ottimale del dispositivo al corpo durante il movimento. Oltretutto, il gilet permette di essere concepito come un capo d'abbigliamento unisex, pur mantenendo le sue caratteristiche di funzionalità, e rimanendo ancorato all'estetica dell'abbigliamento sportivo per il running. Il gilet da running deve essere sia ben aderente al corpo, per non muoversi durante la corsa causando attrito con la pelle o comunque impaccio, sia deve permettere la corretta espansione della cassa toracica dovuta alla respirazione, durante la corsa. La convergenza di tutte queste esigenze ha portato a concepire un gilet corto, dimensionato come un top o uno sports bra, con una allacciatura sulla parte alta del petto, sopra lo sterno.

Quello che nel primo prototipo era uno scaldacollo unito alla pettorina in corrispondenza del colletto, e che costituiva la maschera che si gonfiava di aria filtrata, è stato di conseguenza progettato come una maschera vera e propria, sempre concepita per gonfiarsi di aria filtrata, da indossare sul viso e collegata tramite un raccordo al purificatore posizionato sulla schiena. In questo modo è possibile non tenere il tubo che porta l'aria dal purificatore al volto lontano dal corpo, dal momento che l'aria contenuta è fredda e causerebbe disagio, e di creare anche una zona di scambio termico vicino al volto, in cui la temperatura dell'aria può adattarsi a quella corporea.

Il prodotto risultante ricorda un respiratore subacqueo, con la fonte d'aria respirabile posizionata sulla schiena e collegata ad un elemento sul viso con dei raccordi flessibili. Questa estetica è risultata calzante con l'immaginario evocato dal nome di Narvalo S.r.l, che fa riferimento al famoso cetaceo dotato di un lungo dente, che costituisce un vero e proprio organo sensoriale e permette all'animale di valutare la temperatura e salinità dell'acqua circostante.<sup>57</sup>

Proprio per valorizzare questi concetti, si è scelto di chiamare il prodotto "Diver", termine inglese per "subacqueo".

57. «*Monodon monoceros*», in *Wikipedia*, 9 gennaio 2022, [https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Monodon\\_monoceros&oldid=124960690](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Monodon_monoceros&oldid=124960690).

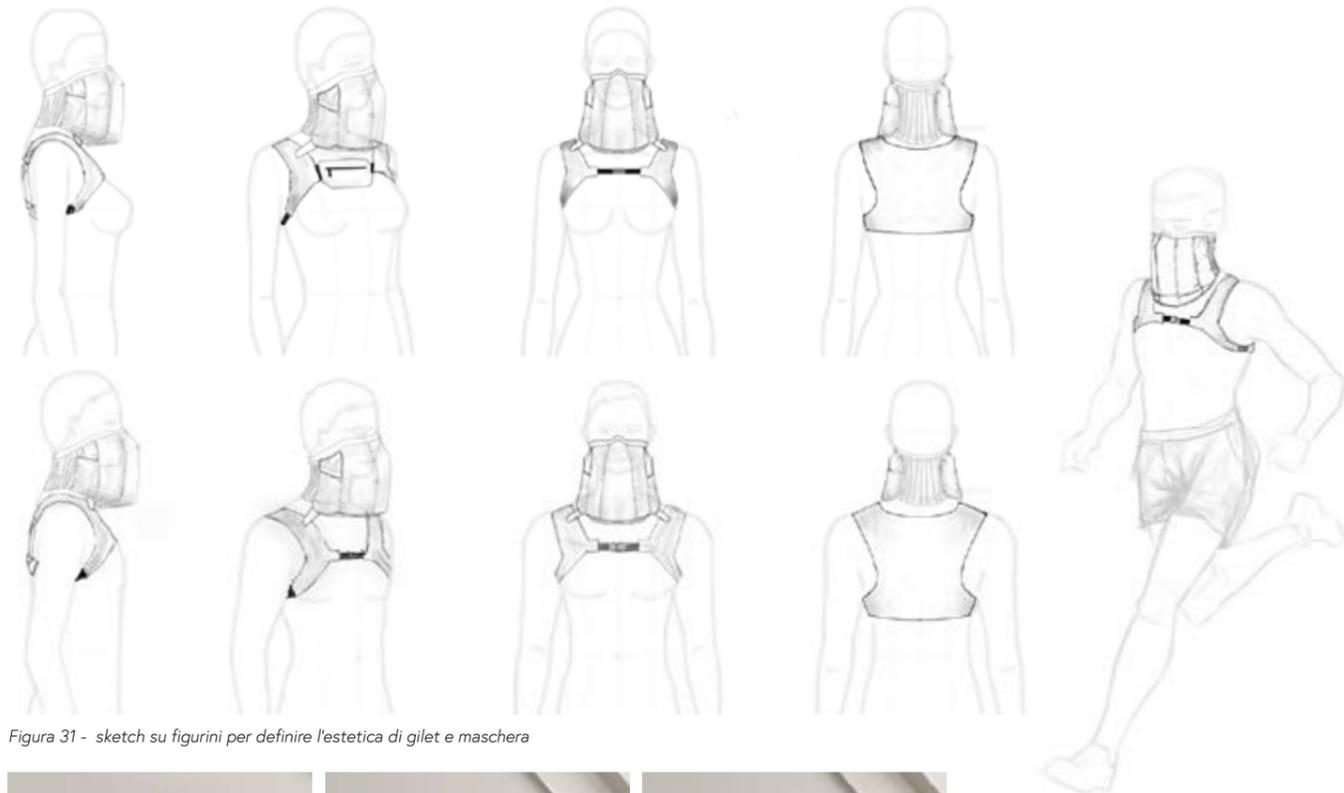


Figura 31 - sketch su figurini per definire l'estetica di gilet e maschera



Figura 32 - prototipo preliminare per testare il nuovo layout della maschera



Figura 33 - ricerca formale del purificatore d'aria e studio della connessione con il gilet

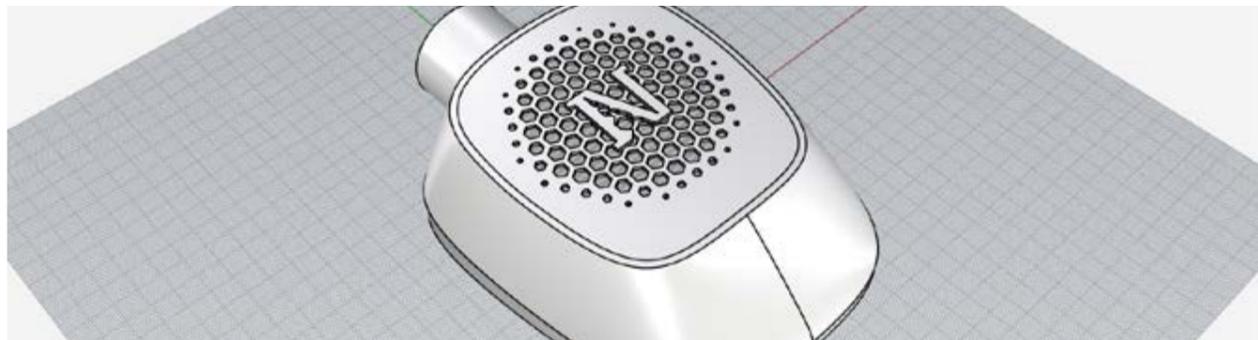
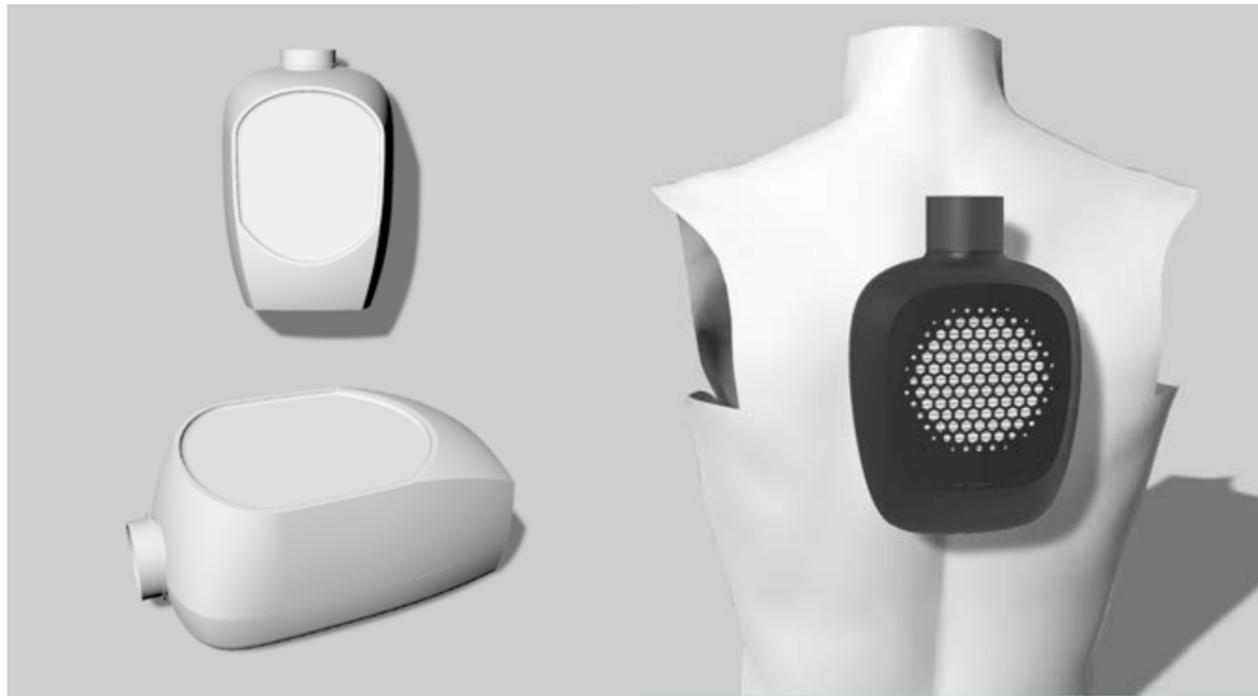


Figura 34 - finalizzazione della forma del purificatore d'aria



Figura 35 - dettagli della fase di ingegnerizzazione delle scocche di plastica



Figura 36 - Vista posteriore Diver



Figura 37 - Vista anteriore Diver

## 5.2.1 IL PURIFICATORE D'ARIA

Il purificatore d'aria è stato progettato con l'intenzione di creare un family feeling con il dispositivo Active Shield attualmente prodotto da Narvalo, a cui abbiamo fatto accenno. L'estetica di Active Shield presenta linee idrodinamiche, somiglianti allo scafo di una imbarcazione o ad un drone subacqueo, con due superfici principali, corrispondenti alle due metà della scocca di plastica, rastremate e che convergono con un cambio di superficie in una terza superficie più verticale, che percorre tre lati del dispositivo, tagliata a metà dallo scuretto di separazione tra le due scocche. Questi elementi formali distintivi sono stati recuperati e valorizzati, creando un volume che presentasse il cambio di superficie tra le due principali e la terza verticale in corrispondenza della separazione tra le scocche. La curvatura della superficie superiore di Active Shield con impressa il logo con la "N" di Narvalo è stata riproposta, ed anche sulla superficie della scocca inferiore, localizzata in corrispondenza delle scapole dell'utente, così da ben integrarsi con l'anatomia della schiena. Sempre sulla superficie superiore è stato necessario ricavare dei fori attraverso cui passasse l'aria aspirata dal ventilatore. La scelta è ricaduta su dei fori di forma esagonale, che ricordassero il tessuto 3D della cover di Urban Mask di Narvalo, e localizzati in corrispondenza del filtro.

Per sostituire il filtro basta aprire lo sportello sollevando la pratica linguetta a scatto e sollevare la griglia forata richiudibile.

Una luce verde posizionata sotto lo sportello e visibile quando si indossa il dispositivo, contribuisce alla visibilità del runner, oltre a segnalare quando il dispositivo è acceso.

La luce LED serve anche a segnalare l'avvenuta ricarica della batteria quando non è in uso. Dal momento che il prodotto è collegabile all'app di Narvalo, che permette di gestirne numerose funzioni, la luce lampeggiante segnala anche l'accoppiamento via bluetooth con lo smartphone dell'utente.

Per il controllo del purificatore è previsto un piccolo controller, dotato di pulsante di accensione e spegnimento, e di un doppio pulsante per aumentare o ridurre manualmente la velocità del ventilatore.

Tutte le scocche plastiche del purificatore d'aria sono progettate per essere realizzate in polipropilene, tramite stampaggio a iniezione, rispettando le regole tecniche per garantire lo stampaggio dei pezzi.



Figura 38 - Diver Air Pack



Figura 39 - Narvalo active Shield



Figura 40 - Narvalo Urban Mask

## 5.2.2 GILET E MASCHERA

Il gilet è ispirato ai gilet da running, realizzato in taglia unica e regolabile, per coprire il maggior numero di taglie possibili, e aderire saldamente al torso dell'utente, e progettato per essere unisex. Grazie a una cinghia sul petto e due sotto le ascelle, ispirate a quelle degli zaini da montagna, è possibile effettuare le regolazioni. Aprendo la fibbia sul petto si può indossare e sfilarsi il gilet, senza dover ripetere le regolazioni ad ogni sessione di allenamento.

Il gilet è realizzato usando due tessuti tecnici, uno leggermente spugnoso, comodo da indossare, che assicura traspirabilità e si adatta all'anatomia del corpo, e uno a rete estremamente traspirante, posizionato in corrispondenza del dispositivo, nella parte centrale della schiena.

Per garantire l'indefornabilità dell'indumento e per creare una struttura alla quale fissare saldamente il dispositivo, che non deve muoversi durante la corsa, è presente una sorta di imbragatura in corrispondenza delle linee di tensione lungo le quali il gilet si deformerebbe a causa della regolazione delle cinghie e a causa del peso del dispositivo. Questa imbragatura, in nastro canneté, è in parte a vista e in parte nascosta.

Dalla ricerca sugli utenti è emersa la necessità di portare con sé almeno lo smartphone e le chiavi di casa; pertanto, sono state applicate al gilet due tasche con patta, posizionate sul petto, dimensionate sulle misure smartphone di medie dimensioni, con uno schermo da sei pollici. Le tasche sono realizzate nello stesso tessuto elastico del gilet, e pertanto possono adattarsi a smartphone anche di maggiori dimensioni.

La maschera è stata realizzata in tessuto tecnico impermeabile e capace di trattenere l'aria, così da gonfiarsi quando insufflata con l'aria filtrata dal purificatore. Due raccordi dello stesso materiale la collegano al purificatore, e costituiscono un unico condotto che converge davanti al viso dell'utente, dove è realizzato un foro nel tessuto. La struttura tubolare è situata verticalmente nella maschera, che costituisce una vera e propria "bolla" d'aria pulita, attorno alle vie respiratorie del runner. La parte superiore della maschera è sagomata a partire dalle misure delle mascherine ed è dotata di una fascia elastica regolabile e di un nasello deformabile, così da potersi adattare a tutti i volti, e garantire la tenuta dell'aria che si raccoglie nella maschera.

Per garantire la tenuta stagna della maschera, tutte le cuciture sono sigillate con nastro da termosaldatura, nero opaco o catari-frangente.



Figura 41 - Gilet e maschera



Figura 42 - Diver, vista frontale



Figura 43 - Diver, dettaglio dell'Air Pack

### 5.2.3 CONNESSIONI TRA LE PARTI E ASSEMBLAGGIO

L'assemblaggio del purificatore d'aria parte dal collegamento degli elementi elettronici: è innanzitutto collegare la PCB al ventilatore, alla luce LED, alla batteria, alla porta di ricarica e ai pulsanti del controller. In questa fase è importante inserire preventivamente il cavo che collega controller e dispositivo nella propria guarnizione tubolare.

Il controller può essere dunque assemblato chiudendo le due scocche a pressione, grazie ai quattro snapfit. I pulsanti in gomma possono essere già presenti, co-stampati con la scocca superiore del controller, oppure possono essere incollati, come accade nelle chiavi delle automobili.

Alla PCB si avvitano i due supporti metallici, si inserisce a pressione il collettore dell'aria nel punto da cui esce l'aria dal ventilatore e si inserisce l'elettronica sulla scocca inferiore. I supporti metallici si collocano in corrispondenza di due sedi a incastro, la batteria si inserisce in corrispondenza della sede predisposta, così come il ventilatore, grazie ai pin di allineamento. Il collettore dell'aria si incastra nella sua sede.

Dopo aver posizionato la guarnizione conica nel punto di aspirazione dell'aria della ventola, e la guarnizione tubolare del cavo del controller in corrispondenza della sede nella scocca inferiore, si inserisce il porta filtro nella scocca superiore. Sempre nella scocca superiore bisogna con cautela inserire il LED e il guida luce in corrispondenza dell'apposito supporto. A questo punto si posiziona la scocca superiore sopra la scocca inferiore, facendo coincidere le quattro coppette inferiori con le superiori, così come il porta filtro con la guarnizione conica.

Applicando la giusta pressione si fanno scattare gli snapfit che permettono di chiudere le due scocche e mantenerle in posizione. Capovolgendo il dispositivo si può avvitare le quattro viti nelle coppette inferiori.

Il collegamento tra purificatore d'aria e gilet è garantito da una struttura ricavata da un foglio di PVC flessibile di 2mm di spessore, a forma di "X" e facilmente collegabile al gilet tramite dei bottoni automatici a scatto. La struttura è avvitata permanentemente alla scocca inferiore del purificatore d'aria ed è progettata in modo da separare il dispositivo dalla schiena dell'utente, creando uno schienale ventilato, su modello di quelli degli zaini da montagna.

Dopo aver avvitato le ulteriori quattro viti che fissano il supporto a X, le parti fisse del dispositivo sono tutte assemblate. Capovolgendo di nuovo il dispositivo, ora saldamente chiuso,

viene inserito il filtro nel porta filtro e si chiude il coperchio, facendo scattare il suo snapfit.

Il collegamento tra maschera e purificatore d'aria è possibile grazie ad un attacco a baionetta, progettato in accordo con BLS a partire da un componente sviluppato dall'azienda e usato in alternativa al già citato attacco universale RD40 su alcuni modelli di maschere a catalogo.

L'invito per il tubo della maschera è incollato al tessuto della maschera, e successivamente inserito nel connettore a baionetta e incollato permanentemente. È importante posizionare correttamente il connettore a baionetta in modo da garantire il corretto fissaggio sul dispositivo.

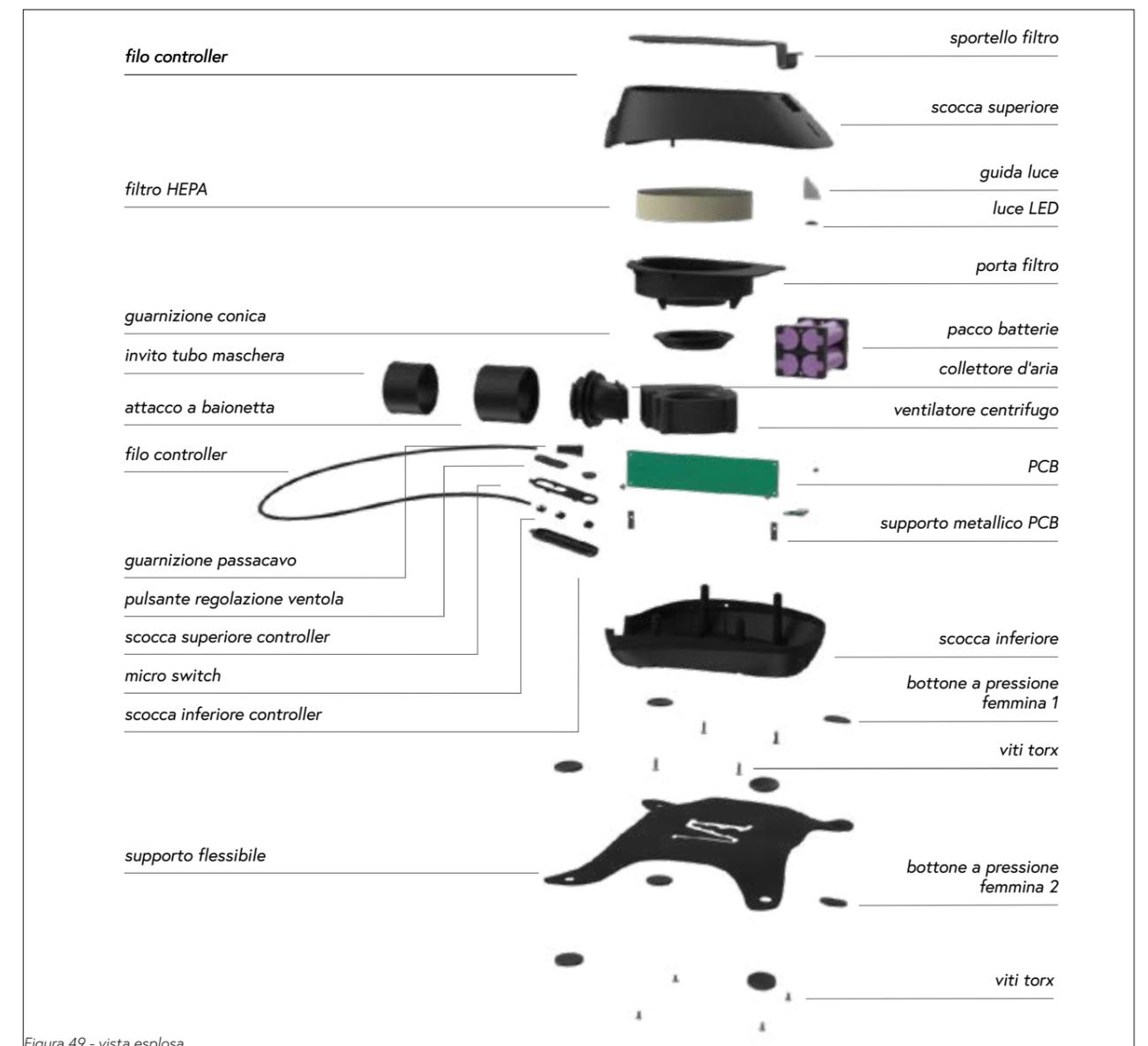


Figura 49 - vista esplosa

## 5.3 SELEZIONE COMPONENTI PURIFICATORE D'ARIA

### 5.3.1 IL FILTRO

Il nuovo purificatore d'aria è progettato a partire dalla componentistica interna, che in termini di tipologia dei componenti era stata definita con lo sviluppo del primo prototipo. Dalle prove d'uso è emerso che fosse necessario selezionare un nuovo filtro o tra quelli già prodotti dall'azienda BLS, o almeno di ipotizzare le caratteristiche di un filtro che l'azienda potrebbe produrre su misura per il progetto.

Dopo alcune ricerche a tal proposito è risultato che la scelta migliore, anche ai fini della realizzazione di un nuovo prototipo funzionante, era considerare un filtro tra quelli a catalogo. Il momento di svolta è avvenuto quando in collaborazione con l'azienda è stato individuato il loro filtro BLS 401 Universal, un filtro per maschere e semimaschere con un particolare attacco universale, denominato RD40 e conforme alla normativa EN 148-1<sup>58</sup>.

Si tratta di un filtro contro le polveri con una elevata capacità filtrante, presenta infatti il codice P3 che esprime la massima capacità filtrante contro le polveri, e garantisce una efficienza filtrante del 99.99%, filtrando particelle fino a un diametro minimo di 0.3 $\mu$ , risultando adatto a filtrare lo smog, ma anche virus e batteri. Il filtro BLS 401 è un filtro plissettato che può essere realizzato alternativamente in tessuto non tessuto (TNT) o in tessuto di fibra di vetro e contenuto in un case in ABS, composto in due metà, una a forma di imbuto, con l'attacco filettato appena descritto, e una che è un coperchio forato, che riporta la caratteristica griglia posta sul fronte di tutti i filtri del marchio BLS. L'azienda realizza anche griglie personalizzate secondo le esigenze dei clienti, oltre che chiaramente una gamma completa di altri filtri costruiti in modo analogo.

Non solo, è prevista l'aggiunta a catalogo di un nuovo filtro, che è sostanzialmente analogo al BLS 401, ma senza l'involucro plastico, costituito dunque dal solo materiale filtrante, inserito in una cornice rigida circolare e dotata di una guarnizione in gomma, così da poter essere inserito dentro una sede appropriata, e rimosso per essere sostituito.

58. «BLS 400 Universal - BLS», <https://www.blsgroup.com/en/> (blog), consultato 23 marzo 2022, <https://www.blsgroup.com/en/prodotti/bls-400-universal/>.



Figura 50

Tale modello di filtro, che non ha ancora una denominazione specifica, è pensato per essere inserito in un dispositivo, e si è rivelato essere la soluzione perfetta per il progetto.

### 5.3.2 IL VENTILATORE

A partire dal filtro, il secondo componente che è stato ripensato, in quanto strettamente dipendente, è stato il ventilatore centrifugo, vero cuore del dispositivo. La scelta del ventilatore è stata cruciale perché si tratta del componente principale del purificatore d'aria, e perché la scelta del modello più adeguato determina la performance del dispositivo, oltre che il dimensionamento dello stesso.

Dalla ricerca condotta, è emerso che la quantità d'aria massima di cui potrebbe necessitare un atleta che indossasse il respiratore è di 200 L/min. Volendo progettare un respiratore adeguato al fabbisogno respiratorio del maggior numero di persone, questo dato è stato considerato come la quantità di aria filtrata che deve essere garantita dal dispositivo in ogni situazione. Il flusso d'aria generato dalla ventola dipende, oltre che dalle caratteristiche della ventola stessa, dalla resistenza posta dal filtro, e dall'alimentazione fornita dalla batteria. Se infatti la ridu-

Figura 50  
Un filtro HEPA BLS 401, il filtro usato nel progetto è un modello privo della scocca esterna in ABS a forma di imbuto

zione del flusso d'aria data dal filtro è un dato fisso, ed è un dato rilevato dall'azienda produttrice, l'alimentazione fornita dalla batteria non è costante, ed è generalmente caratterizzata da un calo di tensione man mano che la batteria si scarica con l'uso. È stato pertanto deciso di alzare del 25% la soglia del volume d'aria da garantire, applicando un approccio conservativo, che non lasciasse adito ad alcuna possibilità di calo del rendimento del dispositivo. La soglia del volume d'aria massimo che deve essere garantito dal dispositivo è stata quindi alzata a 250 L/min.

È stata dunque calcolata la perdita di carico del sistema, ovvero la pressione che il ventilatore deve vincere per garantire il flusso d'aria di 250 L/min. Questo valore è dato dalla pressione esercitata dalla barriera del materiale filtrante, a ad essa è stato aggiunto un 10% riconducibile al sistema (l'aria necessaria per gonfiare i tubi di raccordo e la maschera, che deve essere "spinta" dalla ventola, e che non rientra nei 250 L/min). Il dato della resistenza posta dal filtro BLS 400 è stato calcolato a partire dai dati forniti dall'azienda produttrice, relativi però ad un altro modello di filtro, denominato TMP3. Il valore della perdita di carico per questo filtro a 250 L/min non era disponibile, e pertanto è stato calcolato con una proporzione, ed è risultato essere 1.52mbar (corrispondenti a 15.5mmH<sub>2</sub>O). Il filtro BLS 400 è stato indicato avere una area di superficie filtrante uguale alla metà di quella del filtro TMP3. Con una superficie grande la metà, la difficoltà di passaggio dell'aria, ovvero la perdita di carico, risulta doppia, ed ammonta pertanto a 31mmH<sub>2</sub>O. La perdita di sistema, aggiungendo un 10% di margine di sicurezza, risulta essere di 35mmH<sub>2</sub>O.

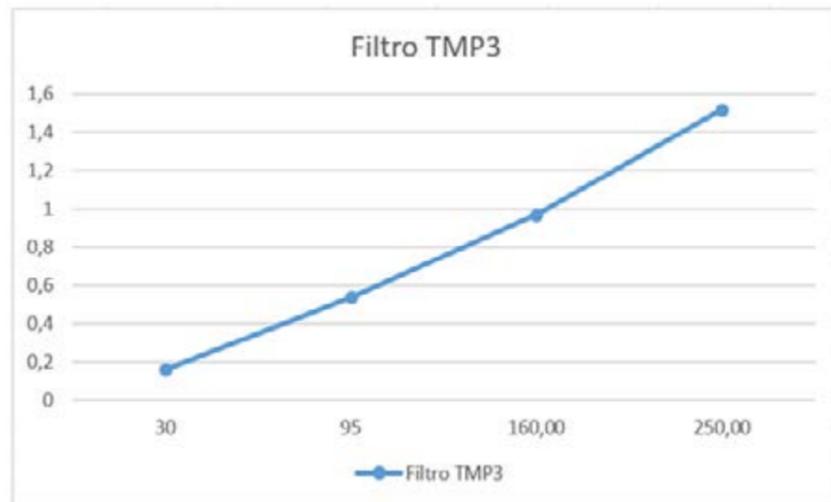


Figura 51

Figura 51  
Calcolo proporzionale della perdita di carico del filtro TMP3

Il dato della perdita di carico di sistema si riferisce dunque alla forza che dovrà essere contrastata dal ventilatore; incrociando questo dato con quello del flusso d'aria che vogliamo sia erogato dal ventilatore, è possibile tracciare un grafico e sovrapporlo a quello fornito nel datasheet dei ventilatori centrifughi, con misurazioni effettuate dal produttore. Questi grafici illustrano la performance del ventilatore come relazione tra la pressione statica contrastata (la forza appunto contrastata dal ventilatore, data da diversi possibili fattori), e il volume d'aria erogata di conseguenza.

Il grafico del datasheet del ventilatore BCB0812XN prodotto da Delta Electronics mostra chiaramente che il flusso d'aria erogato dai tre modelli del ventilatore al variare della pressione statica contrastata, presentano flussi d'aria maggiori in tutti e tre i casi, considerando l'incrocio tra 250 L/min desiderati e 35mmH<sub>2</sub>O da contrastare. Questo significa che tutti e tre i modelli del ventilatore sono adeguati, con il modello EH che è sufficiente, e gli altri due addirittura molto più performanti. Caratteristica felice di questo modello di ventilatore centrifugo è il fatto di essere il più compatto sul mercato, a parità di prestazioni. Questo lo rende particolarmente ideale per il progetto, essendo il più leggero e compatto disponibile, oltre a garantire prestazioni ottimali.

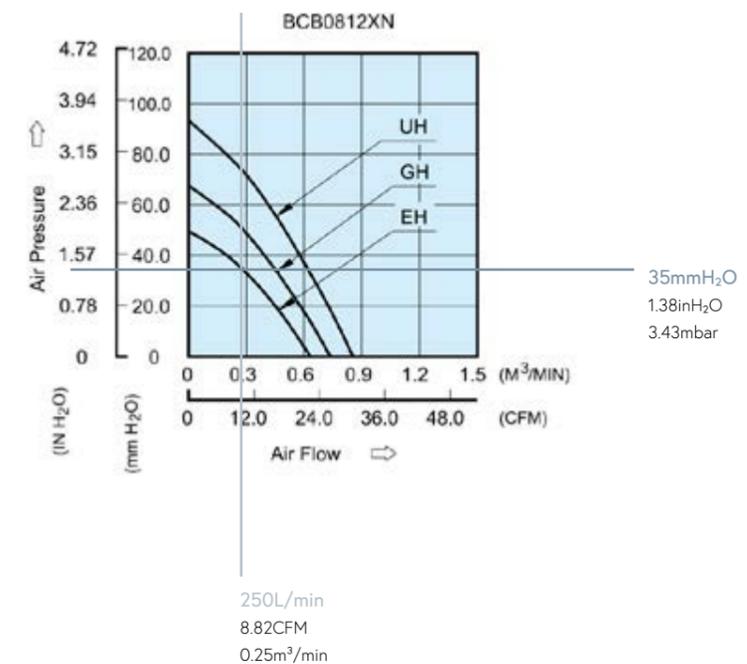


Figura 52

Figura 52  
Incrocio dei dati della perdita di sistema, flusso d'aria desiderato, e caratteristiche del ventilatore centrifugo considerato, come dichiarate nel proprio datasheet.  
Fonte - Delta Electronics

In particolare, è stato selezionato per il progetto il modello di ventilatore centrifugo BCB0812EHN-7E06, dotato oltre dei due cavi per l'alimentazione, anche del cavo per il PWM (Pulse Width Modulation).

Il PWM è la modalità utilizzata per il controllo in dispositivi come ventilatori e pompe, e modula l'alimentazione del motore elettrico suddividendola in intervalli di tempo regolari e variabili. Impulsi brevi e più distanziati determineranno, nel caso del ventilatore, una velocità di rotazione della ventola più lenta, mentre una durata sempre maggiore degli impulsi di alimentazione e una riduzione sempre maggiore delle pause tra un impulso e il successivo, determinano velocità sempre maggiori, fino ad un impulso continuo che corrisponde alla velocità massima della ventola.

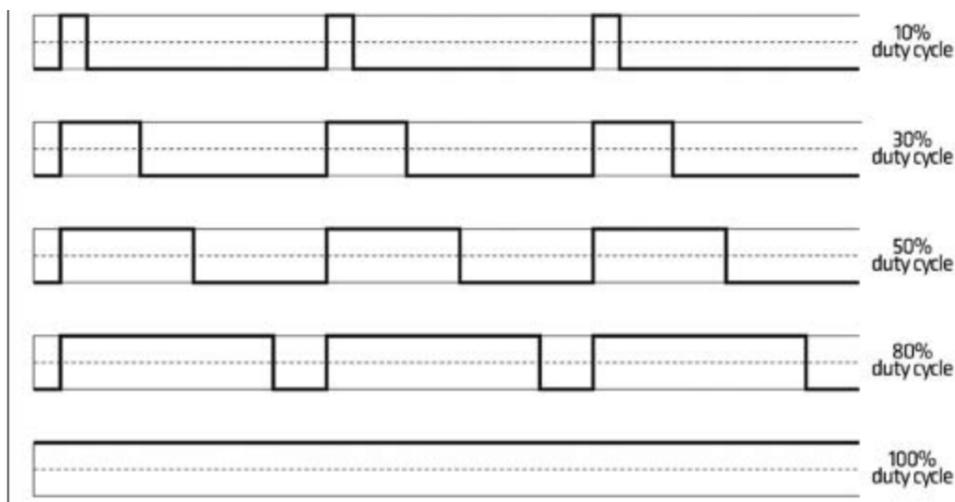


Figura 53

### 5.3.3 LA BATTERIA

La batteria ricaricabile è il componente più pesante del dispositivo, e nel primo prototipo era stata scelta una batteria per droni ad alte prestazioni. La scelta del componente da selezionare è ricaduta su un più convenzionale pacco batteria composto da celle 18650 da 3.7V ciascuna. La scelta della batteria ad uno stadio iniziale del progetto è necessaria per valutare il volume e il peso del componente, e progettare il dispositivo in modo coerente per accogliere e alloggiare al meglio la batteria. I pacchi batteria a celle 18650 sono estremamente standardizzati in termini di dimensioni e peso, ma possono avere composizioni

Figura 53

Illustrazione della modulazione di ampiezza dell'impulso di alimentazione (PWM).

Fonte: <https://www.ekwb.com/blog/what-is-pwm-and-how-does-it-work/>

interne differenti, e quindi capacità diverse, mentre il peso varia minimamente tra serie di capacità diverse. Questo tipo di batterie è ricaricabile, molto stabile e sicuro, largamente impiegato in dispositivi elettronici portatili, ed è modulare. La durata della batteria determina il tempo di funzionamento che il dispositivo può garantire. Per un calcolo preliminare ai fini della scelta della batteria è necessario stabilire per quanto tempo il dispositivo deve funzionare continuamente, prima di avere bisogno di essere ricaricato. Valutando un tempo medio di durata della sessione di allenamento tra i 20 minuti e l'ora, una durata adeguata del funzionamento del ventilatore è stata definita essere di un'ora. Nel datasheet del ventilatore (Figura 15) è dichiarato un consumo di 1A e un assorbimento di 12W per il modello EH scelto, che si prevede il funzionamento per un'ora, sarà necessaria una batteria da 1000mAh a 12V per garantire teoricamente il funzionamento del ventilatore per un'ora. Questo è un calcolo preliminare indicativo, dal momento che il reale consumo della batteria da parte dell'elettronica di controllo, completa di LED e modulo Bluetooth Low Energy (BLE), è difficile da prevedere prima di una reale prototipazione elettronica.

MODEL		Rated Voltage	Operating Voltage Range	Input Current	Input Power	Speed	Maximum Air Flow		Maximum Air Pressure		Noise
PART NO.	FUNCTION	VDC	VDC	Amp	Watt	R.P.M.	m <sup>3</sup> /min	CFM	mmH <sub>2</sub> O	IN H <sub>2</sub> O	dB-A
BCB0812EHN	-R00 / -F00	12	6.0 to 13.2	1.00	12.00	8200	0.632	22.32	49.54	1.950	64.0
BCB0812GHN	-R00 / -F00	12	6.0 to 13.2	1.45	17.40	9500	0.736	25.99	67.64	2.663	67.8
BCB0812UHN	-R00 / -F00	12	6.0 to 13.2	2.30	27.60	10800	0.854	30.16	93.35	3.675	69.3

\* Function type is optional.

\* The max. air flow and the speed are measured in free air; max. air pressure is measured at zero air flow.

\* Noise is measured in anechoic chamber in free air, one meter from intake side.

\* All readings are typical values at rated voltage.

\* Specifications are subject to change without notice.

Figura 54

### 5.3.3 LA SCHEDA ELETTRONICA INTEGRATA

È prevista una scheda elettronica integrata (PCB), nella quale siano alloggiati diversi componenti cruciali per il funzionamento del prodotto.

- Un microprocessore gestisce la regolazione della velocità della ventola, regolandone l'alimentazione tramite il cavo di controllo, in base ai segnali di accensione, spegnimento, o variazione della velocità. Il microprocessore gestisce anche l'accensione in varie modalità del LED, in base alla situazione d'uso.

Figura 54

Scheda riportante le caratteristiche dei tre modelli di ventilatore. Le dimensioni non variano tra i modelli.

Fonte: Delta Electronics

- Un modulo Bluetooth Low Energy (BLE) permette di collegare il purificatore d'aria con lo smartphone dell'utente tramite la Narvalo App. Eventualmente, è possibile collegare all'app anche un dispositivo che registri il battito cardiaco e che sia dotato di connessione bluetooth, come un cardiofrequenzimetro a fascia, uno smartwatch o uno smartband.
- Un sistema di regolazione di tensione, che unisce le funzionalità di un modulo step-up e di un modulo step-down, permette di ricaricare la batteria con la presa di ricarica USB-C da 5V, e alimentare la ventola da 12V.
- Un sistema di gestione della batteria (BMS) permette di regolare e bilanciare la ricarica delle celle del pacco batteria, segnalare malfunzionamenti, e garantisce la sicurezza complessiva della batteria.

La PCB è stata dimensionata a partire dalle indicazioni fornite da BLS, basandosi su quella di un respiratore elettro-ventilato progettato internamente, e che avendo funzionalità analoghe potrebbe condividere i componenti della PCB con il respiratore di questo progetto, almeno in termini di ingombri. Di conseguenza si è assunta una dimensione della PCB di circa 13x3cm, con una area risultante di 40 cm<sup>2</sup>, comparabile con quella della pcb progettata da BLS.

## 5.4 SELEZIONE TESSUTI DI GILET E MASCHERA

La scelta dei tessuti per realizzare il gilet e la maschera è particolarmente importante, dal momento che sono parte costitutiva del prodotto complessivo, e che ne determinano la funzionalità oltre che l'estetica. La collaborazione a titolo gratuito dell'azienda MITI S.p.a, che aveva fornito una consulenza sulla scelta dei tessuti e aveva donato alcuni scampoli con i quali era stato realizzato il primo prototipo, ha fatto ricadere la scelta del fornitore nuovamente su questa azienda. MITI produce tessuti in maglia indemagliabile di elevata qualità, che fornisce a diversi produttori di indumenti sportivi, soprattutto nel settore dell'abbigliamento per ciclisti. Grazie alla disponibilità dell'azienda, è stato possibile avere un secondo incontro di consulenza, per scegliere i tessuti più adeguati in base allo scopo di ogni parte dell'indumento, garantendo qualità estetica oltre che funzionale.

Per il gilet è stato selezionato il tessuto **Chefren** (84% Nylon, 16% Elastan), elastico, traspirante e strutturato, e per la parte più traspirante il tessuto **Mururoa** (76% Nylon, 24% Elastan), a maglia larga.

Nella parte del collo elastico, che permette di indossare la maschera, lper a metà interna, che ripara la gola dal flusso d'aria diretto, è stato scelto **Perfect Style** (65% Nylon, 35% Elastan), più pesante e protettivo ed estremamente confortevole sulla pelle, mentre per la metà restante, che copre la parte posteriore del collo, è stato scelto **Green Feel** (76% Nylon, 24% Elastan), realizzato con tecnologia Green Soul da tessuti riciclati, leggero, traspirante, e fresco al tatto. Tutti i tessuti di MITI sono stati scelti di colore nero.

Per la maschera, si è scelto di usare un tessuto di nylon con trama rip-stop, proveniente da vecchie vele di barca riciclate. Oltre al colore bianco, che si abbina bene al gilet, il tessuto è di altissima qualità, resistente a strappi e abrasioni, e alle alte temperature (una caratteristica necessaria per applicare il nastro termo-saldante. Non solo, la vela riciclata permette di fare un ulteriore riferimento, non solo nell'aspetto ma anche nella sostanza, al mondo marino, con una soluzione altamente funzionale che sposa anche una logica di recupero degli scarti, attenzione all'ambiente, ed economia circolare. Tutti i tessuti sono comodamente lavabili in lavatrice.

Figura 55  
Scampoli di tessuti tecnici di vari colori prodotti da MITI s.p.a.  
Fonte: Miti.com

Figura 56  
Tessuto per vele in Nylon con trama anti strappo.  
Fonte: Caseg.com

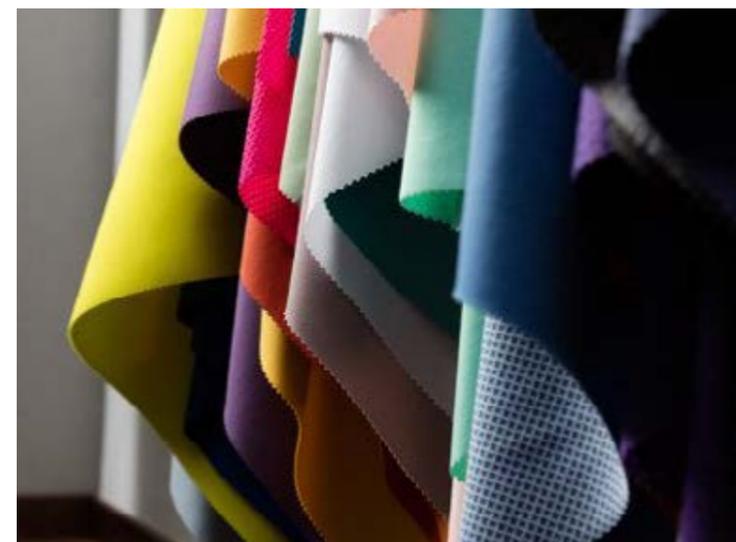


Figura 55



Figura 56

## 5.5 USER JOURNEY E FUNZIONALITÀ



Scollegare il purificatore d'aria dal cavo di ricarica e attaccare il purificatore d'aria al gilet, facendo scattare i quattro bottoni.



Inserire il controller nella sua asola.



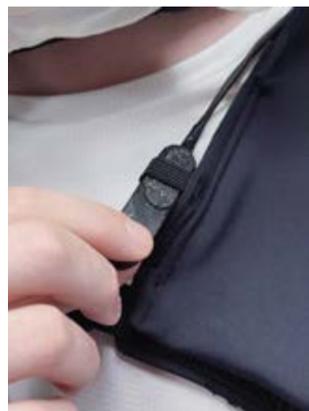
Collegare la maschera al purificatore d'aria tramite l'attacco a baionetta.



Fissare la maschera al gilet con il bottone a scatto.



Indossare il gilet ed eventualmente regolare le cinghie.



Premere il pulsante di accensione una volta. Questo accende il dispositivo senza mettere in moto ancora il ventilatore, ed avvia automaticamente la connessione bluetooth con l'app di Narvalo.

La luce verde pulsante segnala la ricerca del segnale bluetooth e l'accoppiamento in corso.



Dallo smartphone, effettuare il pairing con il purificatore d'aria, ed eventualmente anche con il dispositivo di misurazione del battito cardiaco.



Una volta collegato, il dispositivo comunica all'app eventuali malfunzionamenti, il livello di carica della batteria, e il grado di saturazione del filtro. Quest'ultimo dato è ottenuto incrociando il tempo d'uso del prodotto, cronometrato a partire dal momento dell'accoppiamento via Bluetooth, e i valori di qualità dell'aria dei luoghi attraversati durante l'allenamento, forniti dall'app. Quando il collegamento è stabilito, la luce verde smette di pulsare e resta accesa.



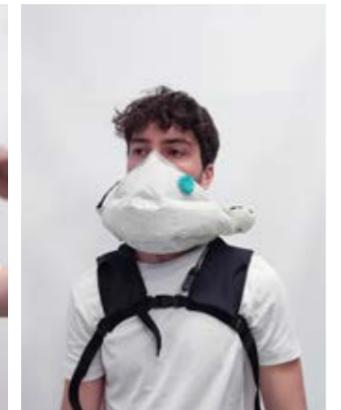
Prima di uscire di casa si può aprire l'app di fitness tracking preferita, lasciarla aperta in background e riporre lo smartphone in una delle tasche frontali.



L'app di Narvalo segnala la qualità dell'aria nel luogo in cui ci troviamo, il collegamento in corso con il purificatore d'aria, e con l'eventuale dispositivo di misurazione del battito cardiaco.



Slacciare il bottone che assicura la maschera al gilet e indossarla.



Quindi avviare il ventilatore premendo nuovamente il pulsante d'accensione. Il rumore prodotto dalla ventola ne segnala l'attività. Dopo qualche istante la maschera si gonfierà.



Stringere l'elastico sulla nuca e regolare il nasello. Ora si è protetti, e si può uscire



Una volta usciti di casa, se si usa una app di fitness tracking si può avviarla, oppure far partire il tempo sul proprio cronometro e cominciare a correre.



Durante la corsa, il dispositivo protegge dallo smog circostante.



Se si è collegato uno strumento di misurazione del battito cardiaco allo smartphone, quest'ultimo invierà costantemente il dato misurato al purificatore, che di conseguenza regola l'intensità del flusso d'aria in modo che sia sempre adeguata allo sforzo.



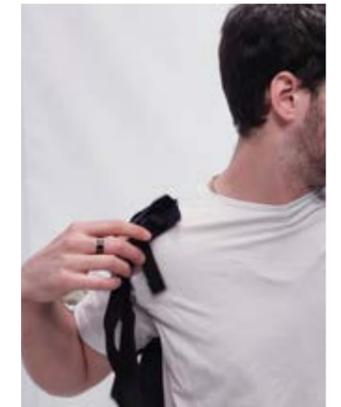
Se non si è collegato alcun cardiofrequenzimetro all'app, o se non si ritiene adeguato il flusso d'aria, si può regolarlo manualmente con i pulsanti sul controller.



Terminato l'allenamento, premendo a lungo il pulsante di accensione e spegnimento, il dispositivo si spegne, interrompendo la connessione Bluetooth.



I dati dell'inquinamento lungo il tragitto percorso, dello stato del filtro e della batteria rimangono disponibili nell'app, aggiornati.



Sfilare la maschera e poi il gilet. Staccare il gilet dal dispositivo, e metterlo in carica. Gilet e maschera si possono lavare in lavatrice a non più di 40°C.

## 6.0 PROTOTIPAZIONE

Per meglio apprezzare l'usabilità del prodotto, si è proceduto a realizzarne un prototipo funzionante. Fin dall'avvio del progetto si è deciso di realizzare un prototipo funzionante come era accaduto con la realizzazione del primo prototipo dopo la selezione del concept da parte di BLS.

Un approccio hands-on ed orientato alla concretizzazione del progetto in un prototipo ha contribuito a sviluppare nuove competenze, oltre che a permettere di avere un riscontro reale di tanti aspetti fondamentali del progetto, non solo legati all'usabilità ma anche all'ergonomia, nonché di raccogliere dati importanti sul comportamento reale dei componenti elettronici (durata della batteria, rumore prodotto dal ventilatore). Infine, la realizzazione del prototipo ha permesso di valutare realisticamente il comportamento del sistema durante il suo utilizzo, ponendo le basi per ulteriori possibili sviluppi futuri.

Figura 57

Il codice caricato sul microprocessore permette di accendere e spegnere il prototipo quando si preme il pulsante.

## 6.1 REALIZZAZIONE DEL PROTOTIPO

La realizzazione del prototipo ha richiesto diversi mesi, ed è proceduta in parallelo con la progettazione del prodotto. Il purificatore d'aria è stato progettato virtualmente e in un secondo momento realizzato fisicamente, mentre il gilet e la maschera al contrario hanno avuto una genesi opposta, sono stati prima progettati e realizzati fisicamente, e poi trasposti in modelli virtuali.

```
void setup() {
  pinMode(10, INPUT_PULLUP);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  //pinMode(13, OUTPUT);
  analogWrite(9, 0);
  digitalWrite(11, 0);
  //digitalWrite(13, 0);
}

bool statusf = false;

void loop() {
  if (digitalRead(10) == 0)
  {
    statusf = !statusf;
    if (statusf == 0)
    {
      analogWrite(9, 0);
      digitalWrite(11, 0);
      //digitalWrite(13, 0);
    }
    if (statusf == 1)
    {
      analogWrite(9, 255);
      digitalWrite(11, 1);
      //digitalWrite(13, 1);
    }
    while (digitalRead(10) == 0)
    {
      delay(100);
    }
  }
}
```

Figura 57



### 6.1.1.1 COMPONENTI ELETTRONICI

Si è proceduto all'acquisto del ventilatore, ma il modello selezionato non era disponibile. È stato pertanto acquistato il modello BCB-0812GHN-F00, ovvero il modello di ventilatore intermedio tra le tre versioni, e dotato solo dei cavi di alimentazione e di un cavo per la misurazione della velocità della ventola, non particolarmente utile alla realizzazione del prototipo, e che pertanto è stato ignorato, e privo del cavo di controllo.



Figura 58

Figura 58

Il ventilatore centrifugo selezionato.

Fonte: Delta-Fan.com

Grazie alla consulenza fornita dallo studio HABITS S.r.l., si è proceduto a collegare al ventilatore una batteria adeguata ad alimentarlo, un pulsante per la sua accensione e spegnimento, e alcuni componenti elettronici per rendere compatibili gli elementi installati.



Figura 59

Il controllo di accensione e spegnimento è stato affidato ad un microcontrollore DFRobot Beetle Board, una piccola scheda programmabile, che necessita una alimentazione a 5V. Questa soluzione permette di lasciare spazio a ulteriori sviluppi del prodotto sotto il punto di vista dell'elettronica.

Per l'alimentazione è stato scelto un pacco batterie composto da quattro celle Samsung INR18650-29E, da 3.6V e 2900mAh di capacità, assemblate in serie e in parallelo, con un voltaggio risultante di 7.4V e 5800mAh. Il pacco batterie ha un suo modulo BMS di controllo, che è stato riutilizzato.

Per collegare il ventilatore alla batteria così allestita è stato frapposto un modulo step-up, che alza il voltaggio da 7.4V ai 12V, richiesti dal ventila-

Figura 59  
Il prototipo del purificatore d'aria disassemblato

tore.

Un modulo simile è anche collegato tra il microcontrollore e la batteria, ma si tratta in questo caso di un modulo step-down, che abbassa il voltaggio da 7.4V ai 5V, richiesti dal microcontrollore.

Al microcontrollore è stata collegata una scheda con i contatti collegati al pulsante di accensione e spegnimento.

Il microcontrollore è stato programmato per collegare o scollegare l'alimentazione dal ventilatore quando premuto, così da attivarlo o disattivarlo.

Figura 60  
Il prototipo della scheda elettronica (PCB)

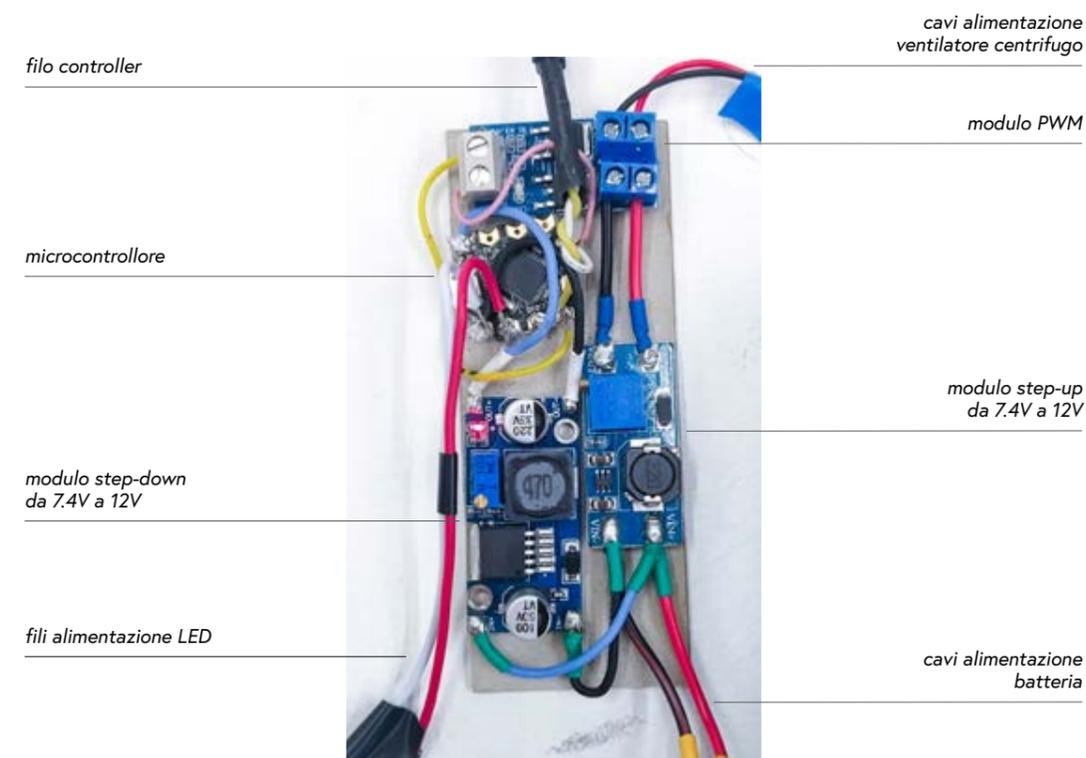


Figura 60

### 6.1.1.2 COMPONENTI IN PLASTICA

Le scocche del purificatore d'aria e del controller, e gli elementi di raccordo, sono stati realizzati mediante stampa 3D, in filamento di PLA nero, mentre il guida luce in PLA trasparente. Gli elementi in gomma come i tasti e la guarnizione conica sono stati stampati in TPU.

Alcuni dettagli caratteristici dello stampaggio a iniezione come

gli elementi ad incastro, le guide per far coincidere le scocche e gli snapfit, una volta stampati in 3D perdono le loro proprietà meccaniche; tuttavia, l'assemblaggio tramite viti ha permesso di superare questo limite, assicurando anche al prototipo una buona solidità.



Figura 62



Figura 61

Figura 61

Nonostante i limiti meccanici della stampa 3D, è possibile aprire e chiudere lo sportello forato per accedere al filtro sostituibile, facendo pressione sullo snapfitreversibile.

Figura 62

La valvola di sfiag garantisce la fuoriuscita dell'aria quando la pressione positiva aumenta nella maschera, chiudendosi automaticamente quando il runner inspira.

## 6.1.2 REALIZZAZIONE DI GILET E MASCHERA

Il gilet e la maschera sono stati realizzati interamente nel Laboratorio di Moda – Sartoria, della Scuola del Design, per il quale è stata ottenuta una abilitazione specifica all'uso dei macchinari.

Grazie alla consulenza dei tecnici di laboratorio, oltre che alla consulenza esterna di professionisti del settore della moda, è stato possibile confezionare i due indumenti con i tessuti forniti da MITI S.p.a. e con la vela riciclata, recuperata tramite una collega studentessa di Design della Moda.

Il nastro da termosaldatura, prodotto da Framis Italia S.p.a, è stato reperito grazie all'intermediazione della professoressa Maria Grazia Soldati, del dipartimento di Design della Moda.



## 6.2 TEST DEL PROTOTIPO

Il prototipo è stato sottoposto ad alcuni test pratici, per capire il comportamento possibile del sistema progettato, ed individuarne pregi e difetti.

La realizzazione non professionale di alcuni componenti è risultata in alcuni casi un limite, come nel caso delle scocche del purificatore realizzate mediante stampa 3D, con tolleranze abbondanti, basse proprietà meccaniche, e finitura superficiale grossolana, in altri no, come nel caso del gilet, e del sistema di aggancio con bottoni automatici, che risulta molto funzionale e confortevole.

### 6.2.1 USER TEST

Il prototipo è stato provato personalmente e sottoposto all'uso da parte di alcuni volontari, e usato durante brevi sessioni di corsa, a diverse intensità, per una durata complessiva del test di circa un'ora.

La batteria ha funzionato per tutta la durata della sessione di test.

Il prodotto risulta comodo da indossare, facilmente regolabile, e in grado di adattarsi a diverse corporature.

Una volta regolato correttamente il dispositivo non si muove durante la corsa, restando ben aderente al torso.

Anche lo smartphone e le chiavi inserite nelle apposite tasche sul petto restano ben aderenti al corpo e non causano fastidio.

La maschera permette di muovere agevolmente il capo, e non crolla a causa della pressione esercitata dall'aria in movimento attorno al runner durante la corsa.

L'aspetto principale di scomodità sono le vibrazioni prodotte dalla potente ventola, che vibra contro la schiena in modo nettamente percepibile.



### 6.2.2 MISURAZIONE DEL FLUSSO D'ARIA

Con un anemometro equipaggiato di una sonda a filo caldo sono state fatte delle misurazioni dell'aria in uscita della ventola. Il flusso d'aria in uscita di un ventilatore centrifugo è influenzato dalla geometria a forma di coclea del ventilatore stesso.



Nel caso del purificatore d'aria che è stato progettato, il collettore d'aria che è posizionato nel punto di uscita dell'aria dal ventilatore, e che ne indirizza il flusso, pur non variando la sezione del flusso, ne altera il corso, generando una turbolenza che determina misurazioni di velocità diverse in diversi punti del foro di uscita dell'aria.

In questo caso dunque, il comportamento del flusso è risultato essere analogo a quello riportato in Figura 63 (pagina seguente).

Sono state effettuate tre misurazioni, una per le due estremità del foro di uscita, e una al centro, ed è stata fatta una media dei valori.

Nel caso del purificatore d'aria che è stato progettato, il collettore d'aria che è posizionato nel punto di uscita dell'aria dal ventilatore, e che ne indirizza il flusso, pur non variando la sezione del flusso, ne altera il corso, generando una turbolenza

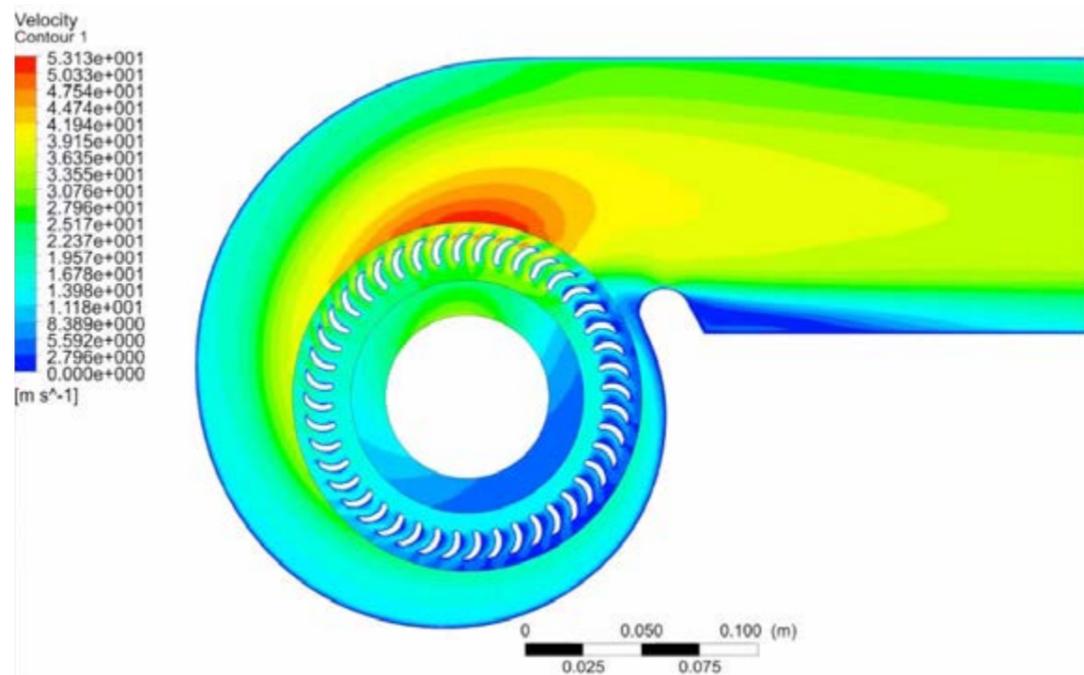


Figura 63

che determina misurazioni di velocità diverse in diversi punti del foro di uscita dell'aria. Nel caso in questione, il comportamento del flusso è risultato essere analogo a quello riportato in Figura 17. Sono state effettuate tre misurazioni, una per le due estremità del foro di uscita, e una al centro, ed è stata fatta una media dei valori.

Il valore medio di 8.86 m/s è stato moltiplicato per l'area del foro di uscita del collettore d'aria, di 779mm<sup>2</sup>.

Ne risultano 0.006899 m<sup>3</sup>/s, equivalenti a 414L/min, o 14.6CFM. La quantità d'aria misurata in uscita va a riempire la maschera, ed è messa a disposizione per essere respirata liberamente dal runner.

### 6.2.3 CONSIDERAZIONI SUL PROTOTIPO

La realizzazione del prototipo funzionante ha permesso un ulteriore passo avanti nello sviluppo del concept iniziale, e dai test condotti si possono trarre alcune importanti conclusioni.

#### Punti di forza:

Innanzitutto, il prodotto funziona, garantisce il flusso d'aria previsto, che dopo un periodo di accumulo nel volume della maschera, di circa 15 secondi, garantisce una pressione positiva nella maschera. Inoltre, il sistema è efficace, comodo da indossare, non impaccia i movimenti, ed è nel complesso pratico. E tutto questo pur essendo un prototipo con le sole funzionalità minime, senza connessione Bluetooth, né possibilità di regolare la velocità della ventola.

#### Punti di debolezza:

Le vibrazioni e il rumore prodotti dalla ventola sono un problema reale, e andrebbe fatto uno studio approfondito per minimizzarli. Alcuni accorgimenti possibili potrebbero essere di integrare maggiormente il ventilatore nelle scocche del dispositivo, dotandolo di supporti che assorbano le vibrazioni, e studiare in modo preciso il passaggio dell'aria nei componenti interni, rifinando le superfici a contatto col flusso per ridurre la resistenza aerodinamica.

Un punto di debolezza generale è il fatto che l'impatto visivo del prodotto dipende molto dall'estetica delle parti di indumento che lo compongono, che necessitano di essere progettati con dovizia; a questo proposito, la maschera potrebbe essere rifinita ulteriormente, armonizzandone le forme e correggendone le proporzioni con precisione.

Figura 63

Visualizzazione della turbolenza nel flusso d'aria in uscita dal ventilatore centrifugo, attraverso il collettore dell'aria, data dal crearsi di zone in cui l'aria fluisce a velocità differenti.

Fonte Youtube.com, copyright:Hatef Khaledi

## 7.0 CONCLUSIONI

Il percorso progettuale ha portato all'ideazione, prototipazione e test di un respiratore attivo rivolto ai runner che vogliono proteggersi dallo smog cittadino.

Gli obiettivi di creare un dispositivo che garantisse una protezione efficace, che garantisse un flusso d'aria adeguato anche durante gli sforzi più intensi, che fosse il più leggero possibile, e che risultasse confortevole agli utenti, sono stati raggiunti, come testimoniato dai test.

Le accortezze tecniche usate nella fase di progettazione assicurano la producibilità dei componenti, e l'individuazione di componenti reperibili sul mercato, così come i rapporti con specifici fornitori, come nel caso dei tessuti, garantiscono la fattibilità tecnica del progetto.

È consigliabile a questo punto condurre ulteriori studi per testare la ricezione del prodotto da parte di un più vasto campione di possibili utenti.

Un elemento estremamente cruciale per il successo commerciale di un prodotto di questo tipo, e delle maschere respiratorie in generale, è infatti la loro accettazione da parte degli utenti. La ricerca condotta per la realizzazione di questo elaborato di tesi, coadiuvata dalle constatazioni empiriche largamente riscontrate nel periodo della pandemia da Covid-19, hanno infatti evidenziato che anche nel mondo occidentale sono stati fatti dei passi avanti in termini di accettazione sociale delle mascherine. Prima della pandemia era inconsueto vedere qualcuno che indossasse una mascherina di qualche tipo fuori da un contesto di lavoro a rischio respiratorio, mentre oggi è diventato per forza di cose normale. Non solo, oggi è più facile considerare di indossare una mascherina per altri scopi, che prima non venivano considerati in modo diffuso: per non contagiare chi ci circonda quando si è raffreddati, per esempio, così come di indossarla per proteggersi dallo smog.

Se da un lato è aumentata dunque la consapevolezza della necessità di proteggere sé e gli altri da rischi legati a sostanze inalabili, rimane o anzi si è accentuata la rilevanza del comfort e dell'estetica dei dispositivi di protezione individuale che si adottano in contesti estranei a quello lavorativo.

Se sul luogo di lavoro una mascherina è necessaria, se non obbligatoria, e una estetica che evidenzia l'efficacia della maschera è ben accetta, lo stesso non accade in altri contesti.

È questa una delle ragioni del successo di alcune mascherine rispetto ad altre, che hanno puntato su una ricercatezza estetica oltre che, o addirittura a discapito di, un grado di protezione certificato e assicurato.

Tale dinamica non può non essere considerata nel progettare un prodotto che necessariamente è un indumento, e fa parte dell'abbigliamento di chi lo indossa. La scelta dei materiali, dei

colori, delle finiture dell'indumento giocano un ruolo di primo piano nella scelta del prodotto da parte dell'utente, che lo indosserà come parte integrante di un outfit parimenti selezionato di abbigliamento ed accessori, dalle scarpe, al resto dei vestiti, fino a dispositivi complementari come lo smartband o smartwatch, tutti espressione della personalità del runner.

Se dunque si è aperta una strada sul fronte della normalizzazione delle mascherine, è cruciale progettare dispositivi che competano non solo sul piano dell'efficacia, ma anche su un piano puramente fashion, e questo progetto non ha potuto prescindere da tali considerazioni, riservando la necessaria attenzione alla progettazione delle parti in tessuto, per creare un capo d'abbigliamento sportivo che potesse integrarsi con l'abbigliamento da running degli utenti.

Tale fase dello sviluppo del progetto può lasciare spazio, nell'ottica di uno sviluppo futuro, a collaborazioni con produttori di abbigliamento sportivo e fashion designer, che garantirebbero quel livello di valore estetico del prodotto che determina il primo impatto da parte dell'utente. Un aspetto importante di Diver è infatti che è scalabile in due direzioni. Una dell'Air Pack, e una degli indumenti, che possono essere aggiornati, rilanciati in edizioni firmate o limitate, rinnovando il prodotto nel suo complesso.

Resta da considerare, al termine della narrazione di questo progetto, che non è stato superato il principale limite per i dispositivi di protezione respiratoria: in mancanza di un obbligo, o di evidenti necessità ad indossarli, se non risultano imprescindibili per svolgere una attività, la loro diffusione resta limitata.

Dal momento che tantissime persone attualmente praticano il running in città inquinate, senza avvertire effetti avversi in modo evidente ed immediato, non esiste ancora una forte domanda per dispositivi di protezione individuale specifici, e il mancato uso non pregiudica la pratica del running in città.

Le prospettive di crescita della consapevolezza della necessità di proteggersi dallo smog mentre si fa running, e l'esistenza di mercati esteri nei quali una domanda in questo senso è più matura, come nei paesi asiatici, dove sorgono grandi metropoli inquinate, costituiscono tuttavia una ragione adeguata a considerare che c'è bisogno di un prodotto come Diver.

## 7.1 PARTNER TECNICI

Un ringraziamento speciale va a:

# Narvalo

Air of Change



FRAMISITALIA

## 7.2 RINGRAZIAMENTI

Giunti al termine di questo elaborato di tesi, colgo l'occasione per ringraziare quanti hanno, a vario titolo, contribuito alla realizzazione del progetto.

Il primo ringraziamento va alla mia famiglia, che mi ha sostenuto durante tutto il mio (lungo) percorso universitario, e soprattutto quando ho intrapreso la strada del design industriale, con una scelta inattesa e apparentemente azzardata.

In secondo luogo voglio ringraziare il professor Innocenzo Rifino, relatore sintetico e incisivo, che mi ha guidato durante questo percorso e presso il cui studio ho avuto la fortuna di fare un periodo di stage, da cui ha preso l'avvio questo progetto di tesi, e nell'ambito del quale ho acquisito e affinato abilità che ho potuto mettere a frutto nel progetto stesso.

Un sentito grazie va anche a:

Ewoud Westerduin, il professor Venanzio Arquilla e tutto il team di Narvalo, che hanno dato consigli utili e con i quali mi sono confrontato a più riprese.

Simone Pirovano di BLS Group, che si è dimostrato estremamente disponibile e ha dato un contributo importante nella parte più tecnica del progetto.

Ing. Pietro Bascapè, che ha concesso volentieri le sue preziose conoscenze in tema di ventilatori centrifughi e filtri, e ha permesso la fattibilità dell'intero progetto, facendolo passare da possibile a fattibile nel giro di mezz'ora.

Ing. Alessandro Crespi, straordinario per capacità e disponibilità, che ha prestato le sue conoscenze per la parte elettronica del prototipo, e senza del quale il prototipo non avrebbe mai funzionato.

Valentina Drago di MITI, che si è dimostrata estremamente disponibile e ha fornito i campioni di pregiati tessuti tecnici che sono stati usati nel prototipo, e che ha giocato un ruolo di primo piano nello sviluppo del primo e del secondo prototipo, in un rapporto cordiale durato due anni.

Professor Angelo Sabbioni e tutto il personale tecnico del Laboratorio di Moda - tailoring del Dipartimento di Design, che mi hanno pazientemente accompagnato nella realizzazione della parte tessile del prototipo.

Rebecca Formenti, ufficialmente la consulente sartoriale del progetto, senza la quale non sarei mai riuscito a confezionare gilet e maschera. Il suo talento, e la disponibilità, sua e di suo marito, hanno giocato un ruolo vitale nel progetto.

Professoressa Maria Grazia Soldati, che ha fornito il nastro per termosaldatura di Framis, e che ha dimostrato grande entusiasmo nel supportare il progetto, pur trattandosi di un tentativo assolutamente ironico di confezione sartoriale.

Beatrice Viacava, che casualmente si trovava con me nel laboratorio di Moda mentre cucivo il prototipo, e che ha volentieri ceduto diversi metri del tessuto di vela da barca riciclata con i quali stava confezionando il suo progetto per la professoressa Soldati. Se non l'avessi incrociata non avrei mai avuto l'idea di usare questo tessuto, ma soprattutto se non me lo avesso regalato non ne sarebbe mai diventato parte, e indubbiamente sarebbe mancato un tassello rilevante del progetto sotto l'aspetto estetico, funzionale, e valoriale.

Caterina Pernarella, Chiara Giardiello, Elisabetta Parma e le modiste, le prime consulenti che ho avuto, che hanno dato prova di grande pazienza e che a vario titolo hanno segnato tappe fondamentali del progetto e dello sviluppo del prototipo.

Martino Governo, che mi ha seguito ad ognuna delle mie lauree, che ha dato un contributo inizialmente durante lo sviluppo del primo prototipo, e poi nello svolgimento dei test sul secondo, permettendo la raccolta di dati estremamente preziosi per valutare la performance del purificatore d'aria.

Federico Pozzi, Andrea Febres e i ragazzi di Superforma, che si sono fatti in quattro per stamparmi in 3D le scocche del prototipo, mentre facevano tante altre cose.

Davide Riva, modello paziente e di ottima presenza: ti auguro un futuro pieno di soddisfazioni come progettista industriale, ma nel caso hai un piano di riserva.

Gli Intesiti, vero e proprio gruppo di supporto, guidato dal fedelissimo Gabriele Tricella, a cui oltretutto va riconosciuto di avermi accompagnato nelle fasi del progetto precedenti alla tesi, dal concept al primo prototipo. Senza di lui non avrei mai incontrato Valentina Drago, e sicuramente il mio progetto sarebbe più brutto. Oltre a lui cito Elena Iannella, la cui famiglia ha adottato brevemente me e Gabriele, e Caterina Cedone, del cui talento e generosità si possono riscontrare tracce in questo impaginato.

Un grazie anche a Elisa Mastrogiacomo, che non ringrazierò mai abbastanza per un sacco di ragioni, che è stata spalla e riferimento in questi anni: contro ogni aspettativa, tra l'altro.

Ringrazio infine i ragazzi e le ragazze del CLU, i colleghi e le colleghe di Lista Aperta, tutti e tutte coloro che mi hanno accompagnato in questi sei anni, da chi è ormai sposato con figli fino all'ultima matricola. Senza di voi tante cose sarebbero diverse, sicuramente io sarei diverso, e invece vi sono grato di avermi fatto crescere un po'.

## 7.3 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Adelson, Karen Iorio. «The Best Face Masks for Running Outside». *The Strategist*, 18 gennaio 2022. <https://nymag.com/strategist/article/best-face-masks-for-running.html>.

«Air Pollution». Consultato 22 febbraio 2022. <https://www.who.int/westernpacific/health-topics/air-pollution>.

«Air Pollution». Consultato 3 marzo 2022. <https://www.who.int/westernpacific/health-topics/air-pollution>.

BBC News. «Beijing Marathon Runners Don Masks to Cope with Smog», 19 ottobre 2014, par. China. <https://www.bbc.com/news/29679782>.

Boone, William Thomas. *Introduction to Exercise Physiology*. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning, 2014.

Physical Culture Study. «Born to Run: The Origins of America's Jogging Craze», 15 giugno 2015. <https://physicalculturestudy.com/2015/06/15/born-to-run-the-origins-of-americas-jogging-craze/>.

Bos, Inge, Patrick De Boever, Jef Vanparijs, Nathalie Pattyn, Luc Int Panis, e Romain Meeusen. «Subclinical Effects of Aerobic Training in Urban Environment». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45, n. 3 (marzo 2013): 439–47. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827767fc>.

Carlisle, A J. «Exercise and Outdoor Ambient Air Pollution». *British Journal of Sports Medicine* 35, n. 4 (1 agosto 2001): 214–22. <https://doi.org/10.1136/bjism.35.4.214>.

«DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 - Normattiva». Consultato 3 marzo 2022. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2006-04-03;152~art268!vig=>.

«DKRace: corse running». Consultato 21 marzo 2022. <https://www.dkrace.it/index.php>.

La Gazzetta dello Sport. «Dopo l'ultimo decreto del governo, è possibile andare a correre?», 12 marzo 2020. <https://www.gazzetta.it/running/news/12-03-2020/decreto-governo-sport-aria-aperta-corsa-spiegazione-norme-63629.shtml>.

Runners Connect. «Dr. Tom Lawton Ran 22 Miles in a Mask To Prove A Point». Consultato 22 febbraio 2022. <https://runnersconnect.net/running-interviews/dr-tom-lawton-ran-22-miles-in-a-mask-to-prove-a-point/>.

Driver, Simon, Megan Reynolds, Katelyn Brown, Jakob L Vingren, David W Hill, Monica Bennett, Taylor Gilliland, et al. «Effects of Wearing a Cloth Face Mask on Performance, Physiological and Perceptual Responses during a Graded Treadmill Running Exercise Test». *British Journal of Sports Medicine* 56, n. 2 (gennaio 2022): 107–13. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103758>.

Galla, Camille Hove, Taylor. «The 26 Best Face Masks for Running, Cycling & Working Out: Under Armour, Rhone, Adidas». SPY (blog), 26 gennaio 2022. <https://spy.com/articles/gear/accessories/best-face-masks-cycling-running-251320/>.

Giles, Luisa V., e Michael S. Koehle. «The Health Effects of Exercising in Air Pollution». *Sports Medicine* 44, n. 2 (febbraio 2014): 223–49. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0108-z>.

Wonder. «Globally, How Many People Practice Running (as a Sport), and What Is the Global Market Size for This Sport?» Consultato 5 aprile 2022. <https://askwonder.com/research/globally-people-practice-running-as-sport-global-market-size-sport-dba00dqv>.

Goldberg, M. S. «Associations between Daily Cause-Specific Mortality and Concentrations of Ground-Level Ozone in Montreal, Quebec». *American Journal of Epidemiology* 154, n. 9 (1 novembre 2001): 817–26. <https://doi.org/10.1093/aje/154.9.817>.

Guo, Mengmeng, e Shihe Fu. «Running With a Mask? The Effect of Air Pollution on Marathon Runners' Performance». *Journal of Sports Economics* 20, n. 7 (ottobre 2019): 903–28. <https://doi.org/10.1177/1527002518822701>.

Hodgson, Antonia, e Russell Hitchings. «Urban Air Pollution Perception through the Experience of Social Practices: Talking about Breathing with Recreational Runners in London». *Health & Place* 53 (settembre 2018): 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.07.009>.

«INQUINAMENTO ATMOSFERICO in "Enciclopedia Italiana"». Consultato 22 febbraio 2022. [https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/inquinamento-atmosferico_(Enciclopedia-Italiana)).

«Inquinanti Atmosferici —». Consultato 7 marzo 2022. <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/appfondimenti/inquinanti-atmosferici>.

Latham, Alan. «The History of a Habit: Jogging as a Palliative to Sedentariness in 1960s America». *Cultural Geographies* 22, n. 1 (gennaio 2015): 103–26. <https://doi.org/10.1177/1474474013491927>.

«LO STATO DEL RUNNING NEL 2019». Consultato 22 febbraio 2022. <https://www.forrestgroup-minerva.it/blog/1337-lo-stato-del-running-nel-2019.html>.

Marr, Linsey C., e Matthew R. Ely. «Effect of Air Pollution on Marathon Running Performance». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 42, n. 3 (marzo 2010): 585–91. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b84a85>.

Green.it. «Mascherine e ritiri: lo smog di Pechino rovina la maratona», 1 novembre 2014. <https://www.green.it/smog-pechino-maratona/>.

«Monodon monoceros». In Wikipedia, 9 gennaio 2022. [https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Monodon\\_monoceros&oldid=124960690](https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Monodon_monoceros&oldid=124960690).

Statista. «Motivation to Start Running as a Sport 2017». Consultato 5 aprile 2022. <https://www.statista.com/statistics/558667/motivation-to-start-running-as-a-sport/>.

Muindi, Kanyiva, Thaddaeus Egondi, Elizabeth Kimani-Murage, Joacim Rocklov, e Nawi Ng. «"We Are Used to This": A Qualitative Assessment of the Perceptions of and Attitudes towards Air Pollution amongst Slum Residents in Nairobi». *BMC Public Health* 14, n. 1 (dicembre 2014): 226. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-226>.

ARPA Lombardia. «Ozono Troposferico - Aria / Qualità Dell'Aria». Consultato 3 marzo 2022. <https://www.arpalombardia.it:443/Pages/Aria/Inquinanti/Ozono-Troposferico.aspx>.

Pasqua, Leonardo, Mayara Damasceno, Ramon Cruz, Monique Matsuda, Marco Garcia Martins, Adriano Lima-Silva, Mônica Marquezini, Paulo Saldiva, e Romulo Bertuzzi. «Exercising in Air Pollution: The Cleanest versus Dirtiest Cities Challenge». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, n. 7 (17 luglio 2018): 1502. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071502>.

«piogge acide in "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica"». Consultato 7 marzo 2022. [https://www.treccani.it/enciclopedia/piogge-acide\\_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/piogge-acide_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)).

«Protezione delle vie respiratorie». Consultato 17 marzo 2022. <https://www.inail.it/cs/Satellite?c=Page&cid=2443085356137&d=68&pagename=Internet%2FPage%2FpaginaFoglia%2FLayout>.

«Qualità aria, revisione norme Ue entro 2022 > ReteAmbiente». Consultato 3 marzo 2022. <https://www.reteambiente.it/news/45854/qualit-aria-revisione-norme-ue-entro-2022/>.

«recreational running consumer research study\_Nielsen.pdf», s.d.

«respiratorio, apparato in "Dizionario di Medicina"». Consultato 8 marzo 2022. [https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio\\_\(Dizionario-di-Medicina\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio_(Dizionario-di-Medicina)).

«RESPIRATORIO, APPARATO in "Enciclopedia Italiana"». Consultato 8 marzo 2022. [https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio\\_res-beb1992c-87e6-11dc-8e9d-0016357eee51\\_\(Enciclopedia-Italiana\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio_res-beb1992c-87e6-11dc-8e9d-0016357eee51_(Enciclopedia-Italiana)).

«respiratorio, apparato nell'Enciclopedia Treccani». Consultato 8 marzo 2022. <https://www.treccani.it/enciclopedia/apparato-respiratorio>.

«Ricerca | Garzanti Linguistica». Consultato 21 febbraio 2022. <https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=%20corsa%20simile%20al%20jogging%20ma%20pi%C3%B9%20veloce>.

US EPA, OAR. «Particulate Matter (PM) Basics». Overviews and Factsheets, 19 aprile 2016. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>.

«What Are Volatile Organic Compounds (VOCs)?» Overviews and Factsheets, 19 febbraio 2019. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-are-volatile-organic-compounds-vocs>.

Business Standard India. «WHAT IS AIR QUALITY INDEX (AQI)». Consultato 3 marzo 2022. <https://www.business-standard.com/about/what-is-air-quality-index>.

