

Cristiano Vergani
Responsabile R & S
Deparia Engineering S.r.l.
Email: cristiano.vergani@deparia.com

“La movimentazione elettrostatica dell’aria”

La ventilazione artificiale si basa da sempre sulla movimentazione meccanica dell'aria, per mezzo di ventilatori azionati da motori elettrici. Da qualche tempo, è allo studio una nuova e sorprendente tecnologia, che permette di muovere direttamente l'aria attraverso l'impiego di campi elettrici, in modo efficiente e silenzioso.

La movimentazione artificiale dell'aria rappresenta un mezzo molto efficace per migliorare il comfort ambientale, oltre ad assolvere diverse utilità pratiche nelle attività umane. Nella grande maggioranza dei casi, l'aria è sottoposta a movimentazione forzata attraverso l'impiego di una ventola, il cui principio di funzionamento è sostanzialmente riconducibile ad una sezione di piano inclinato che si sposta nello spazio. Il fluido gassoso è fisicamente sospinto da una superficie solida in movimento, che crea un gradiente di pressione positivo sul lato coincidente con la direzione di spostamento e negativo sul lato opposto. In alternativa, è possibile ottenere lo spostamento di masse d'aria attraverso dei gradienti di pressione ottenuti per mezzo delle variazioni di densità indotte da cambiamenti di temperatura: quest'ultimo è anche uno dei meccanismi più importanti che inducono il movimento naturale dell'atmosfera sulla superficie terrestre.

Tra gli altri, esiste un metodo in grado di spostare l'aria che, fino ad oggi, ha trovato limitatissime opportunità di impiego, relegato per lo più tra le curiosità di laboratorio: si tratta dell'utilizzo dei campi elettrostatici. Come è noto, una particella dotata di carica elettrica rimane ferma in uno spazio elettricamente

neutro. Se invece lo spazio è caratterizzato da un gradiente di campo elettrico, la particella carica tenderà a muoversi nella direzione contraddistinta da un vettore di segno opposto. Applicato alle molecole gassose dell'aria, si tratta del fenomeno comunemente noto come "vento elettrico": collegando un potenziale sufficientemente elevato ad un conduttore che termina in aria con una punta acuminata, si osserverà il prodursi di una specie di "soffio" in corrispondenza dell'estremità appuntita. Questo fenomeno è dovuto alla intensità di campo elettrico estremamente elevata in un'area che si restringe fino a livello di pochi atomi. In queste condizioni, le molecole gassose dell'aria si ionizzano facilmente e, avendo carica uguale a quella del campo, si allontanano velocemente per effetto della repulsione reciproca. In tal modo si riescono a creare flussi d'aria, o meglio, di ioni, molto limitati, per i limiti intrinseci del fenomeno: la ionizzazione avviene in uno spazio molto ristretto, e può quindi coinvolgere un numero limitato di molecole. Inoltre, gli ioni perdono rapidamente la loro carica urtando la massa circostante di aria elettricamente neutra. Anche aumentando il numero di punte, il flusso rimane di entità estremamente limitata, priva di qualunque utilità ai fini pratici di ventilazione. Per questi motivi, l'utilizzo degli elettrodi appuntiti è rimasto confinato nell'ambito della produzione di piccole quantità di aria ionizzata per vari scopi (principalmente per indurre o annullare cariche elettriche in ambiente oppure su superfici, ad esempio nell'industria elettronica).

In realtà, esiste un altro effetto, legato a campi elettrici ad elevata intensità, in grado di provocare, tra l'altro, uno spostamento d'aria. In molti laboratori di ricerca, civili e militari, è allo studio da molti anni (fin dai primi decenni del secolo scorso) una curiosa proprietà dei condensatori elettrici, che prende il nome

di effetto Biefeld – Brown. In sintesi, quando si carica un condensatore ad un potenziale molto elevato (almeno alcune migliaia di volt), sul condensatore stesso si viene ad esercitare una forza motrice, che è tanto maggiore quanto più sono differenti le masse delle due armature (la struttura elementare del condensatore elettrico è rappresentata da due elettrodi conduttivi, o armature, separate da un elemento isolante, o dielettrico). Non si tratta di un effetto di poco conto, dato che, fin dalla sua scoperta, ne fu ipotizzato un uso come propulsore di aerei ed astronavi (può esercitare una spinta per kW più che doppia rispetto ad un motore a razzo a propellente chimico). Tuttavia, ai fini pratici, si scoprì ben presto che, per funzionare a dovere, necessitavano campi elettrici estremamente elevati, pari a diversi milioni di V/m, e che gli apparati per generare e sostenere tali campi pesavano molto di più della massima spinta che si poteva creare. Negli anni intorno al 1950, diversi sperimentatori costruirono prototipi di piccoli apparecchi volanti (*lifters*), collegati ad alimentatori esterni tramite dei fili, senza ulteriore seguito apparente. Però, nel corso del tempo, all'interno di molti laboratori le ricerche sono andate avanti e molti brevetti sono stati depositati, anche da parte di enti governativi. Dall'esame di questi brevetti e delle pubblicazioni più recenti, si evince che l'effetto Biefeld-Brown è stato verificato anche nel vuoto, che esiste un qualche tipo di interazione con la forza di gravità e che se ne sta studiando l'applicazione per la propulsione satellitare, in alternativa ai motori ionici, anch'essi funzionanti per mezzo di elevati campi elettrostatici e magnetici. Negli ultimi anni, un fatto particolare ha contribuito a rilanciare fortemente l'interesse intorno a questa tecnologia "esoterica", ovvero la pubblicazione su alcune riviste di aeronautica di indiscrezioni riguardanti il funzionamento dei velivoli cosiddetti *Stealth*, ed

in particolare il bombardiere Northrop B-2. Alcuni dati, non confermati ufficialmente, sembrano indicare che tale apparecchio potrebbe essere dotato di un sistema in grado di mantenere un elevatissimo potenziale elettrico, di polarità positiva sulle superfici alari e di polarità opposta in corrispondenza degli scarichi dei quattro motori a getto convenzionali di cui è equipaggiato. Tale sistema assolverebbe a più funzioni contemporaneamente: in primo luogo, servirebbe a modificare la turbolenza in prossimità dei profili alari. Inoltre, sarebbe in grado di evitare la formazione delle scie di condensazione ed infine, contribuirebbe alle prestazioni dinamiche attraverso una combinazione di spinta e diminuzione del peso apparente del velivolo. Come si può vedere, prestazioni di tipo "fantascientifico", come d'altronde l'aspetto dell'apparecchio in questione, che sembra veramente provenire da un altro mondo.

Tutto ciò, cosa ha a che fare con la movimentazione dell'aria? Semplice, senza scomodare i tori di fisica, è evidente che un'elica serve a fare avanzare un aeroplano ma, se teniamo fermo l'aereo, l'elica sposta l'aria intorno a sé. Questa è la base della ventilazione meccanica, e lo stesso vale per i sistemi di propulsione elettrostatica: se un campo elettrostatico può fare muovere un oggetto di un certo tipo in un dielettrico fluido (come l'aria, in determinate condizioni), tenendo fermo l'oggetto in quel campo, si provocherà il moto del dielettrico stesso, cioè, nel caso che ci interessa, dell'aria.

In realtà, la movimentazione elettrostatica dell'aria è un fenomeno molto conosciuto ma, come già accennato, solo in connessione allo spostamento di gas ionizzati: si ottiene la ionizzazione dei gas atmosferici e si provoca il loro spostamento per mezzo di elettrodi aventi carica opposta. Ad ogni modo, que-

sto metodo ha dei limiti evidenti, che dipendono dalla massima carica trasferibile sulle molecole gassose, dalla geometria degli elettrodi e dalla scarsa permanenza delle cariche indotte. Quando si sono cominciati a sperimentare dei dispositivi basati sull'effetto Biefeld – Brown (condensatori asimmetrici), si ipotizzò che lo spostamento osservato fosse causato dal principio di azione e reazione, per effetto della ionizzazione dell'aria (gli ioni prodotti dall'effetto corona a causa dell'alta tensione sugli elettrodi si allontanano velocemente per repulsione elettrostatica). Tuttavia, presto si calcolò che, per spiegare la spinta osservata sperimentalmente, ci sarebbe voluta un'efficienza di ionizzazione superiore di almeno un ordine di grandezza a quella reale. Quando poi si effettuarono degli esperimenti con dielettrici fluidi non ionizzabili o nel vuoto, si capì che la ionizzazione poteva avere solo un ruolo marginale nella spiegazione del fenomeno. Il dibattito sulle cause dell'effetto Biefeld – Brown, a quasi ottanta anni dalla sua scoperta, è ancora molto aperto: per la scienza ufficiale si tratta di un argomento un po' imbarazzante, perchè non immediatamente spiegabile con gli strumenti della fisica conosciuta. Molti importanti laboratori stanno investigando il fenomeno, con risultati a volte sconcertanti. Ad esempio, la divisione R&D del colosso industriale Honda ha riscontrato una diminuzione del peso fino a circa il 3% nei condensatori asimmetrici alimentati, il che farebbe pensare ad un qualche tipo di interazione tra campo elettrico e campo gravitazionale. Comunque, l'approfondimento di questo tema esula dal nostro ambito: rimandiamo quindi chi fosse interessato alla consultazione delle varie fonti citate in bibliografia, con l'avvertenza che, data la natura "esoterica" del fenomeno, è facile imbattersi in materiale che ha ben poco di scientifico. Che l'argomento abbia una sua serietà, è comunque dimostrato dal gran numero

di ricerche portato avanti da strutture istituzionali e militari, soprattutto nell'ambito della dinamica dei fluidi e dell'aeronautica.

I ventilatori elettrostatici

In specifico riferimento al settore di nostro interesse, la ventilazione dell'aria, esistono alcuni prototipi di ventilatore, basati su varie interpretazioni tecniche. La più conosciuta si basa sulle esperienze nel settore dei profili alari degli aerei militari ad altissime prestazioni, dove si utilizzano degli "attuatori elettrostatici" per modificare il comportamento dei vortici, migliorando così le prestazioni aerodinamiche. Questi dispositivi, denominati *plasma actuators*, si sono dimostrati in grado di funzionare come ventilatore, anche se con prestazioni, per ora, molto limitate. I *plasma actuators* sono basati su elettrodi lineari depositati su una superficie isolante, alimentati in sequenza da alte tensioni alternate, opportunamente ritardate in fase. Applicando un elevato potenziale alternato tra i due elettrodi, posizionati ad una certa distanza sulle due superfici contrapposte di un foglio isolante, si viene a formare un "pennello" di plasma (fluido di elettroni allo stato libero). Questo eccesso di elettroni liberi provoca più che altro la ionizzazione delle molecole gassose dell'aria, che si traduce in un flusso indotto di bassa intensità. In questo caso, l'effetto Biefeld - Brown viene sfruttato solo marginalmente, di conseguenza le prestazioni sono limitate, per ora lontane da reali applicazioni pratiche di ventilazione.

Un'altra tecnologia, più promettente, è stata messa a punto nel laboratorio dello scrivente: si tratta di un'applicazione derivata dai filtri elettrostatici. Come è noto, la struttura dei filtri elettrostatici è molto simile a quella dei condensa-

tori elettrici in aria, formati da elettrodi piani contrapposti. Questi elettrodi hanno normalmente la funzione di caricare elettrostaticamente le particelle in transito, e di conseguenza provocarne la precipitazione su superfici di carica opposta. Chi ha avuto a che fare con i filtri elettrostatici, avrà forse potuto constatare come, in determinate condizioni, da essi provenga un avvertibile flusso d'aria, anche in assenza di ventilazione meccanica. Tale effetto è sempre stato considerato come secondario, dovuto alla normale ionizzazione dell'aria, un aspetto collaterale di nessuna ricaduta pratica. Però, alla luce degli studi sugli attuatori elettrostatici, è sorto spontaneo il desiderio di verificare la possibilità di ricercare il potenziamento di questo effetto secondario, nel tentativo di rendere il filtro elettrostatico una macchina ventilante, dalle prestazioni comparabili ai ventilatori meccanici. Dopo approfondite ricerche e sperimentazioni, oggi si può dire una tale macchina esiste, e che le sue prestazioni, pur ancora da perfezionare, sono sorprendenti. E' possibile costruire un ventilatore elettrostatico che può essere utilizzato in alcune applicazioni di ventilazione generale, per di più mantenendo anche le proprie prerogative di filtro. In effetti, questo dispositivo è in grado di movimentare l'aria e, allo stesso tempo, di depurarla dalle particelle in sospensione (con opportuni accorgimenti, anche dalle Sostanze Organiche Volatili: quindi, un vero filtro per Indoor Air Quality). Si tratta comunque di una tecnologia molto giovane, suscettibile di evoluzione e quindi prematura ai fini di un'applicazione immediata, tuttavia, le sue prestazioni sono molto promettenti. In termini di velocità e di portata, i valori riscontrati nei prototipi sono sovrapponibili a quelli mostrati da ventilatori meccanici di uguali dimensioni, ma con alcune importanti particolarità (a parte la funzione di filtrazione, un valore aggiunto assoluto). Innanzi tutto, il funzionamento è

assolutamente silenzioso, un aspetto particolarmente importante in ambito residenziale: inoltre, la movimentazione è coerente, ovvero la massa d'aria in transito dal dispositivo è accelerata in modo più uniforme rispetto a un ventilatore meccanico. Di conseguenza, la turbolenza è molto ridotta e il lancio d'aria è più silenzioso ed efficace. Il consumo energetico risulta sovrapponibile rispetto ai normali ventilatori, intorno a 0,1 – 0,2 W per m³/h di portata. Naturalmente c'è la necessità di un alimentatore ad alta tensione, ma si tratta di una tecnologia ampiamente consolidata ed adottata in milioni di esemplari nel settore degli apparecchi di consumo (televisori, depuratori elettrostatici). D'altra parte, l'assenza di parti in movimento ha il vantaggio di assicurare una lunghissima vita operativa. Per fare un esempio delle prestazioni ottenibili, un modulo ventilante elettrostatico da 150 x 150 mm di superficie frontale è in grado di accelerare l'aria in un intervallo regolabile da 0,5 a 5 m/s, con una portata da 40 a 400 m³/h, a 0 Pa di perdite di carico. La funzione filtrante, comparabile a quella di un normale filtro elettrostatico, è estremamente efficace, anche su particelle di dimensioni sub-microniche. Questo aspetto, oltre ad essere un grande vantaggio, specialmente in un momento di grande attenzione alla qualità dell'aria, può anche rappresentare un limite: infatti, in presenza di aria molto inquinata, gli elettrodi possono sporcarsi rapidamente e le prestazioni ventilanti possono decadere. In tal caso, si deve provvedere ad un lavaggio del modulo collettore per ripristinare il normale funzionamento. Ad ogni modo, è possibile minimizzare questo inconveniente utilizzando due moduli in serie, uno per la filtrazione ed il successivo per la movimentazione dell'aria. Quest'ultimo potrebbe così funzionare in assenza di particelle, per un tempo molto più lungo senza richiedere manutenzione, mentre il modulo filtrante può

sopportare livelli di sporco molto elevati senza alcuna apprezzabile diminuzione di rendimento.

Possibili impieghi del ventilatore elettrostatico

I campi di possibile applicazione sono innumerevoli. Tra questi, se ne possono indicare alcuni particolarmente adatti a recepire i contenuti innovativi del dispositivo:

- Distribuzione dell'aria negli ambienti civili da parte di apparecchiature di condizionamento (ventilconvettori in genere e apparecchi simili).

Di larghissimo impiego nel settore terziario, i ventilconvettori sono tanto più apprezzati quanto più contenuta è la loro rumorosità e quanto più efficiente è il processo di miscelazione dell'aria trattata termicamente con il resto del volume dell'aeriforme ambientale. Di recente, è comparsa una esigenza nuova nel mercato: quella di una maggiore tutela della salute degli occupanti degli ambienti confinati, attraverso una migliore qualità dell'aria (Indoor Air Quality).

Per questo motivo, alcuni Costruttori hanno cominciato ad integrare dispositivi filtranti ad alta efficienza all'interno dei ventilconvettori, al fine di aggiungere la funzione di depurazione al preesistente trattamento termico. L'adozione di un ventilatore elettrostatico all'interno di un ventilconvettore, permetterebbe, a parità di flusso d'aria, di ottenere una movimentazione ed una depurazione dell'aria ad alta efficienza con un solo apparato, con un livello di silenziosità ineguagliabile da parte di un ventilatore meccanico. Inoltre, la coerenza e la direzionalità del flusso permetterebbero una precisione di indirizzamento del

lancio d'aria in ambiente tale da portare ai massimi livelli di efficienza i meccanismi classici di movimentazione dell'aeriforme ambientale (effetto Coanda, effetto prossimità, barriere a lama d'aria ecc.), a tutto vantaggio del rendimento energetico e del comfort degli occupanti. Viste le ridottissime dimensioni del dispositivo, esso potrebbe essere integrato nelle bocchette di distribuzione dell'aria negli impianti canalizzati, con il duplice obiettivo di sollevare il ventilatore principale di distribuzione da gran parte del lavoro e di operare un'eliminazione degli inquinanti presenti nell'aria condizionata. Anche il settore delle barriere d'aria usate per isolare ambienti a temperatura diversa o a diversi livelli di contaminazione particellare, potrebbe essere rivoluzionato dall'adozione del dispositivo in oggetto: ad esempio, esso permetterebbe di integrare una barriera a lama d'aria nello stipite delle porte, oppure di creare delle vere e proprie "pareti virtuali aeriformi", con dispositivi in serie tra loro in grado di riprendere e rilanciare una lama d'aria con intervalli di diversi metri.

- Applicazioni scientifiche e di ricerca.

Alcune applicazioni scientifiche e di ricerca richiedono l'utilizzo di flussi d'aria privi di impurità e controllabili finemente per direzione ed intensità, nella più totale assenza di vibrazioni: basti pensare alla ventilazione usata per stabilizzare e mantenere puliti alcuni strumenti ottici di elevata precisione (telescopi) o alle necessità di alcuni procedimenti di giunzione delle fibre ottiche ad alte prestazioni. Impossibile elencare tutte le applicazioni nel campo della ricerca chimica, biomedica e della scienza dei materiali che potrebbero sfruttare un tale dispositivo.

- Raffreddamento di apparecchiature elettroniche.

Negli uffici moderni, gran parte del rumore di fondo è dovuto alle ventole di raffreddamento dei computer e di apparecchi simili (centralini telefonici, quadri elettrici ecc.). L'adozione del dispositivo in oggetto per questo tipo di applicazione permetterebbe di eliminare il rumore in modo pressoché totale, preservando inoltre le apparecchiature dai danni dovuti alla polvere e agli altri inquinanti contenuti nell'aria.

www.ariacube.com

Bibliografia

Levitatori elettrostatici

<http://inaudin.free.fr/lifters/main.htm>

Il primo "elettronauta" a bordo di un levitatore

<http://ilnflabs.imars.com/lifters/orville/index.htm>

Studio sulla propulsione elettrica commissionato dall'aeronautica statunitense:

<http://foldedspace.com/Electric%20Propulsion%20Study,%20Dr.Cravens%201989.pdf>

Attuatori al plasma

<http://www.electrofluidsystems.com/index2.html>

Brevetti

Campbell, NASA, United States Patent 6,775,123 August 10, 2004
"Cylindrical asymmetrical capacitor devices for space applications"

T.T. Brown, United States Patent 1,974,483 September 25, 1934
"Electrostatic motor"

T.T. Brown, United States Patent 3,267,860 August 23, 1966
"Electrodynamic fluid pump"



Figura 1

Il bombardiere Northrop "Spirit" B-2, in forza all'aeronautica statunitense, è un aereo estremamente progredito. Molte sue caratteristiche sono classificate e quindi non disponibili pubblicamente. È opinione diffusa tra gli addetti ai lavori che questo apparecchio sia dotato, tra l'altro, di un sistema in grado di mantenere un elevatissimo campo elettrico in corrispondenza del profilo alari e degli scarichi dei motori.



Figura 2

I levitatori elettrostatici, o *lifters*, sono dispositivi in grado di sollevarsi e volare nell'aria se collegati ad un elevato potenziale elettrico, fornito da un alimentatore esterno. I modelli più grandi possono sollevare un carico utile fino a un centinaio di grammi.

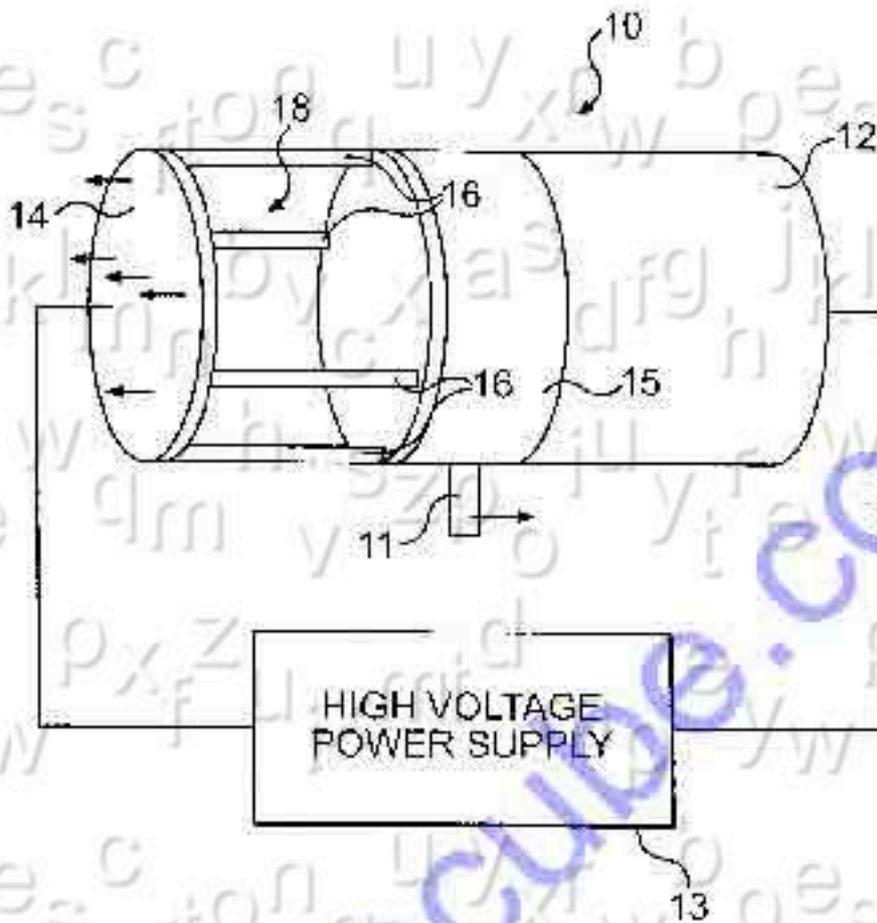


Figura 3

Schema del condensatore asimmetrico brevettato dalla NASA: mantenuto carico ad un potenziale molto elevato, è in grado di muoversi nel vuoto o di accelerare un gas da usare come propulsore a getto.

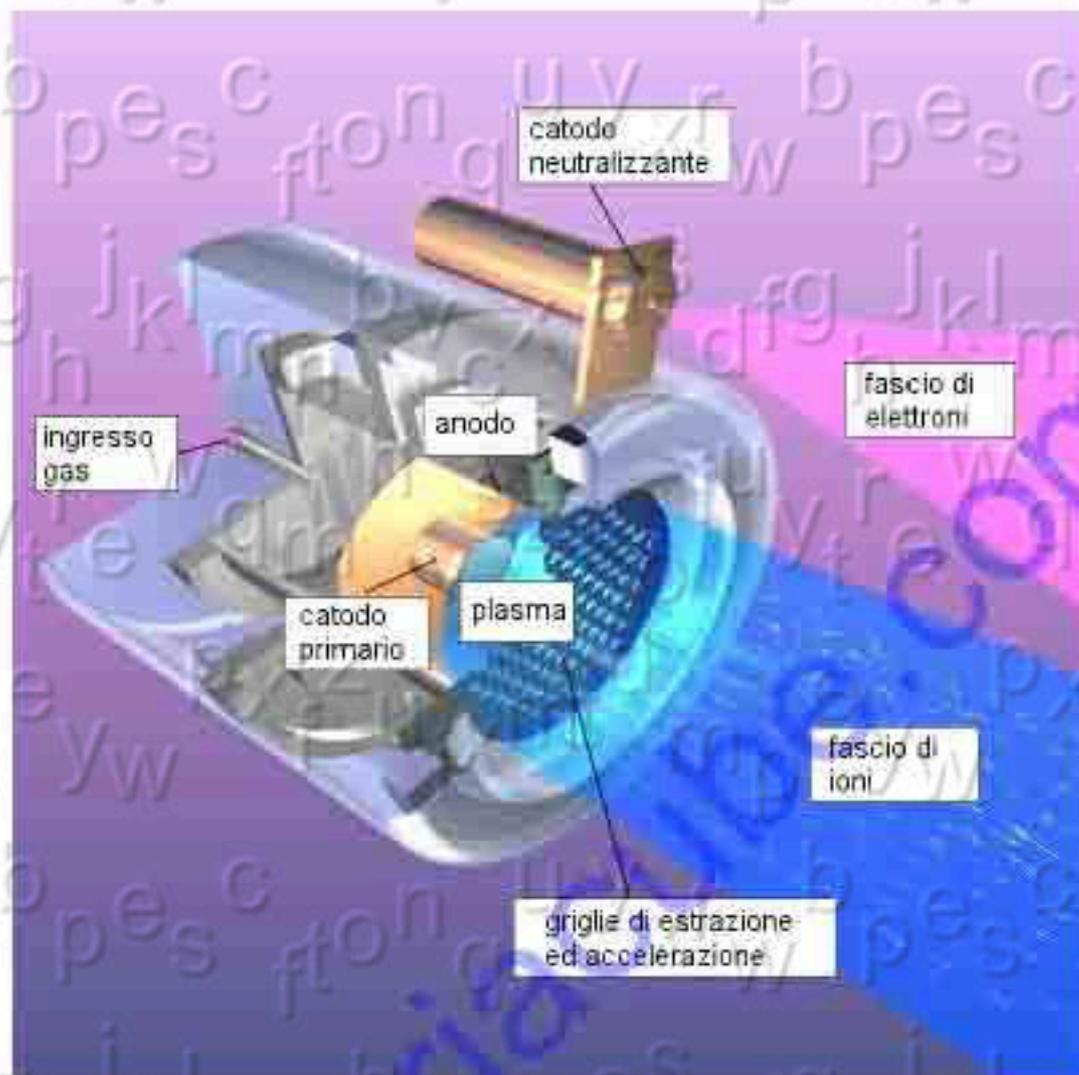


Figura 4

Schema di motore ionico già utilizzato per la propulsione di satelliti. Un gas ionizzabile (Argon) è caricato elettrostaticamente, focalizzato da magneti permanenti ed accelerato da una griglia. Il fascio di elettroni serve a mantenere elettricamente neutro il satellite rispetto allo spazio circostante.

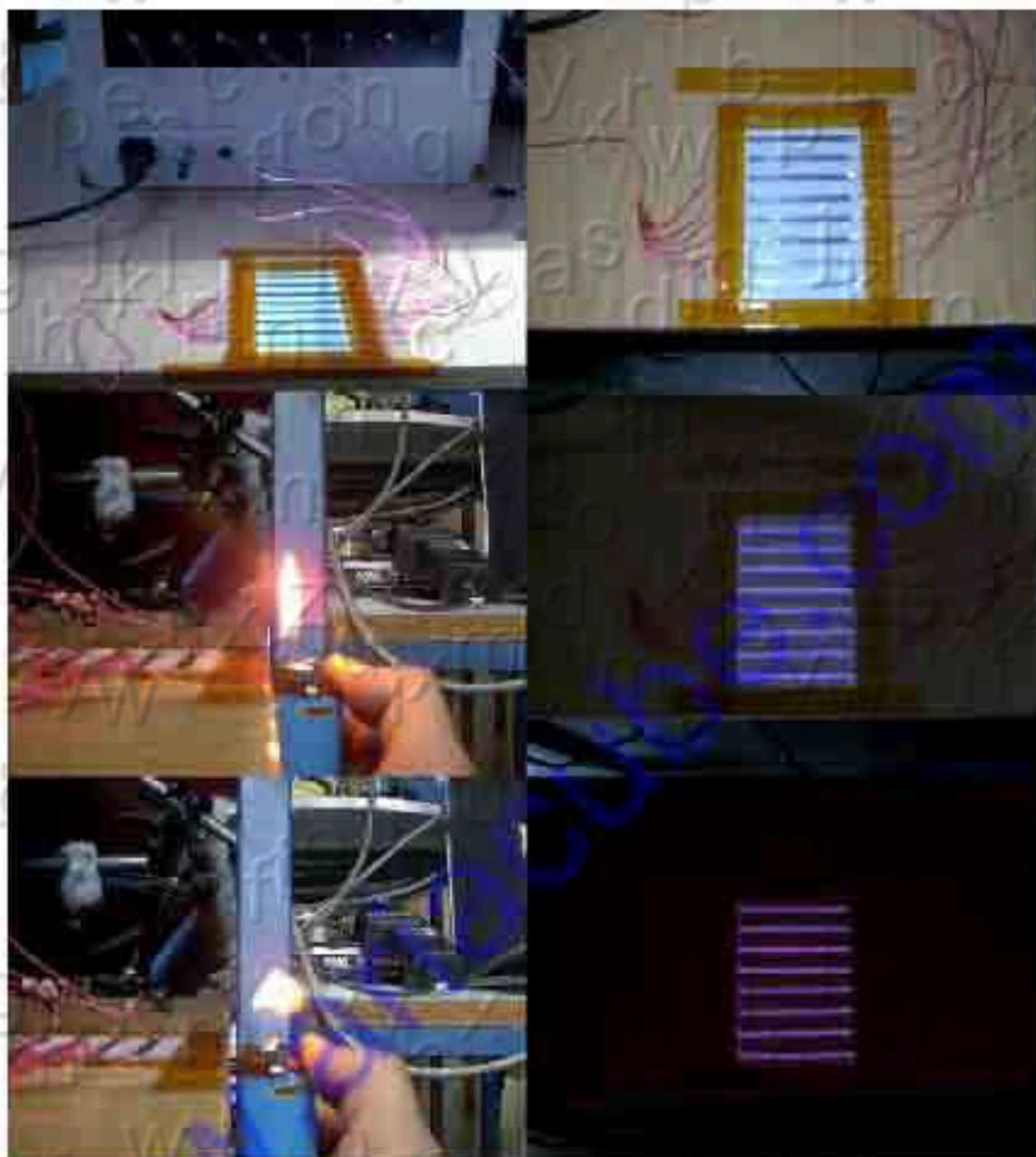


Figura 6

Attuatore al plasma realizzato dall'Institute of Bionics and Evolutionstechnique della Berlin University of Technology. E' formato da una serie di elettrodi in sequenza, alimentati ognuno da una tensione alternata sfasata di un quarto d'onda. La velocità dell'aria è molto limitata, in grado di piegare leggermente la fiamma di un accendino.

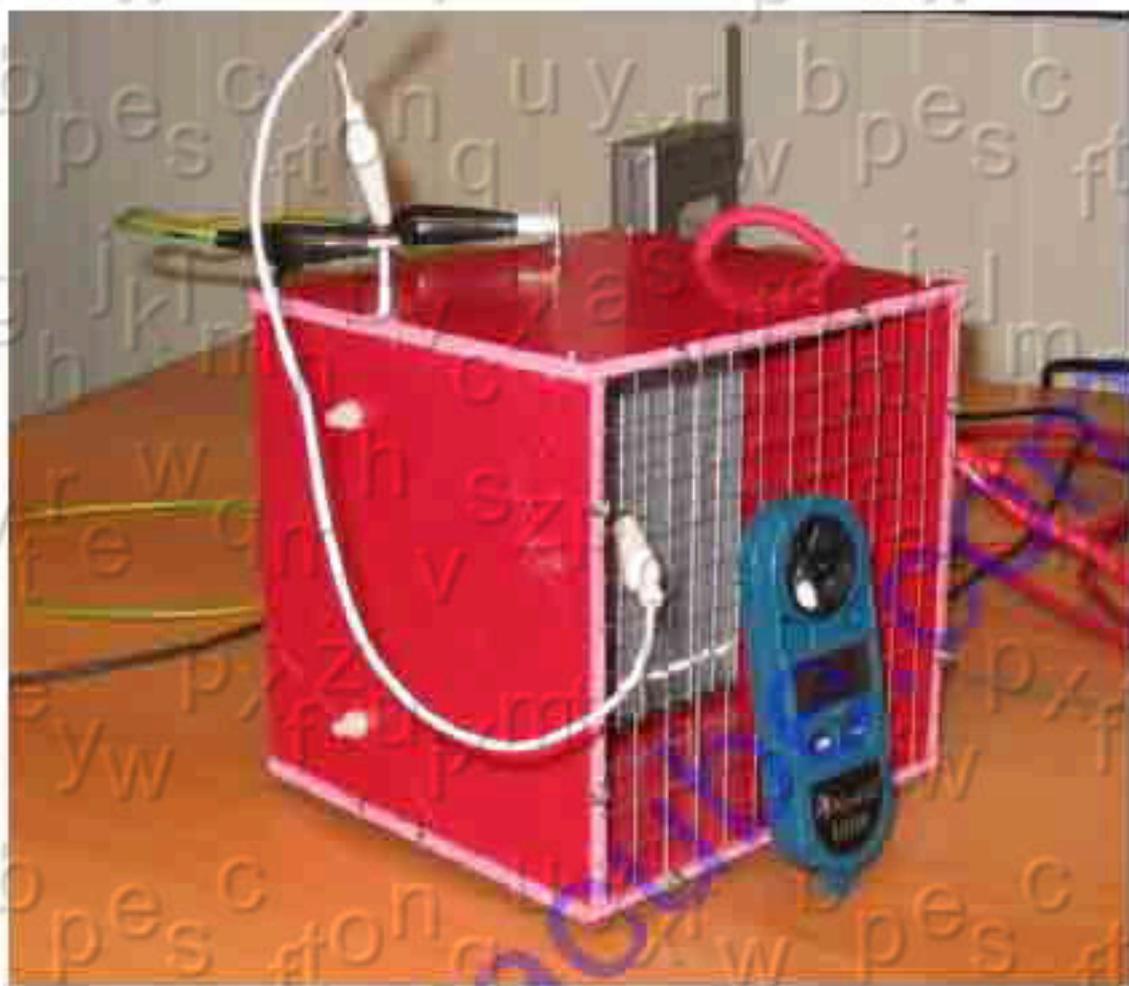


Figura 7.

Ventilatore elettrostatico (150 x 150 mm) realizzato nel laboratorio dell'autore. La velocità dell'aria può essere regolata tra 0,5 e 5 m/s e di conseguenza la portata può variare approssimativamente da 40 a 400 m³/h.

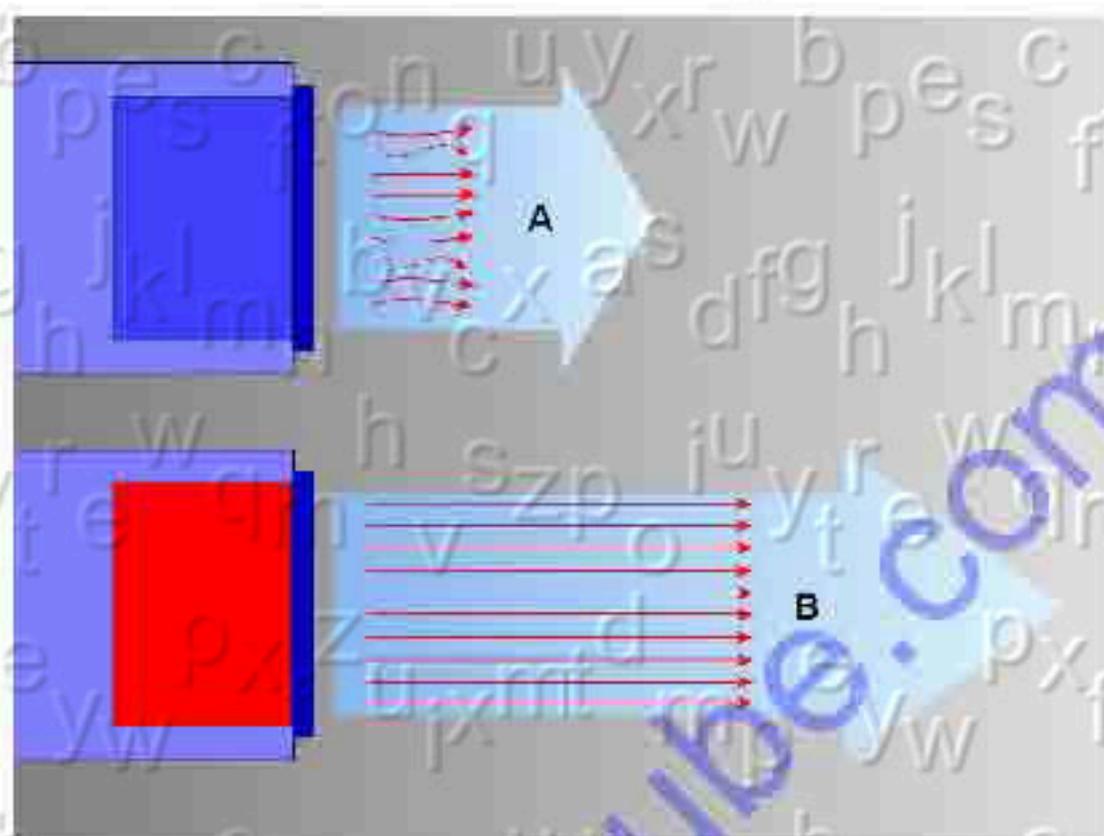


Figura 8

Nei ventilatori elettrostatici (B) l'aria è accelerata uniformemente, generando un flusso perfettamente direzionale. Nell'ipotesi di impiego come unità terminale di impianti canalizzati, si potrebbero ottenere getti di elevata estensione privi di turbolenza. Inoltre, le unità terminali si trasformerebbero in elementi di propulsione attiva, azzerando le perdite di carico dovute alle batterie di scambio termico e alle griglie di passaggio dell'aria, con evidenti vantaggi funzionali ed energetici rispetto alle unità terminali tradizionali (A).

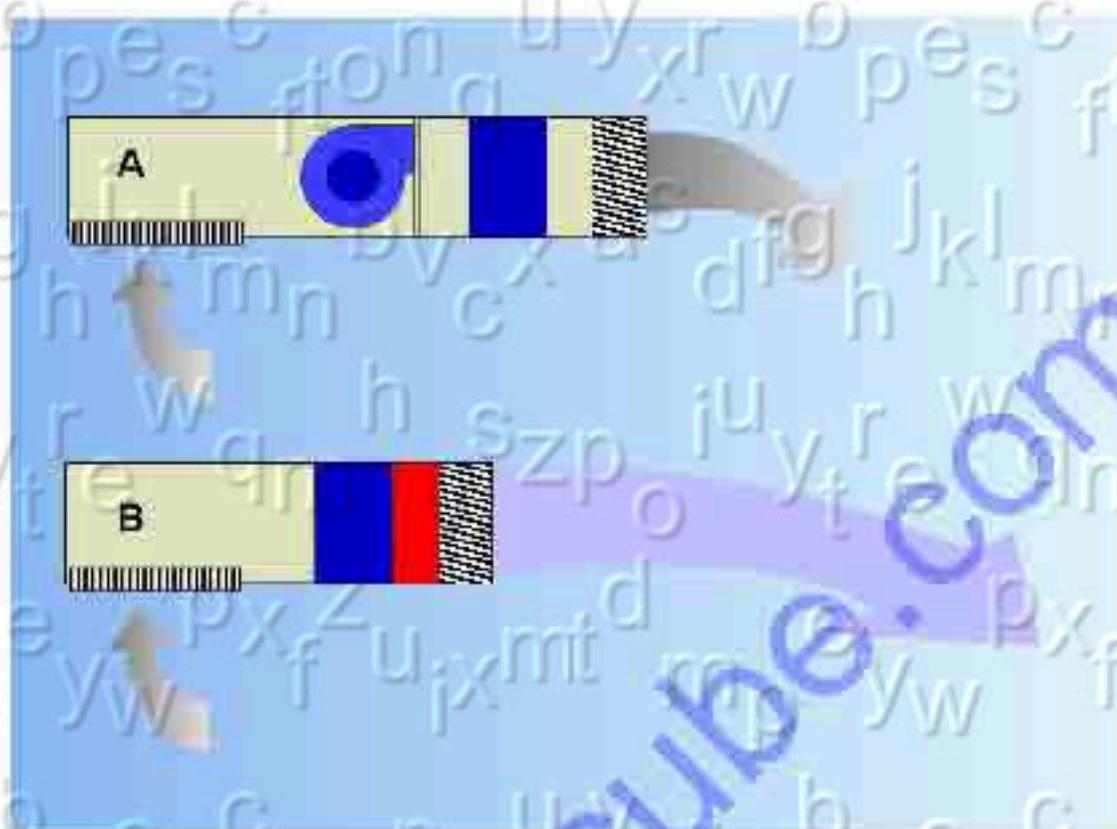


Figura 9

Nei ventilconvettori tradizionali (A), il ventilatore meccanico rappresenta una notevole causa di ingombro e di rumore; l'adozione di un ventilatore elettrostatico (B), consentirebbe di costruire unità molto più compatte e silenziose, dotate di migliore lancio d'aria e con elevate capacità di abbattimento degli inquinanti.

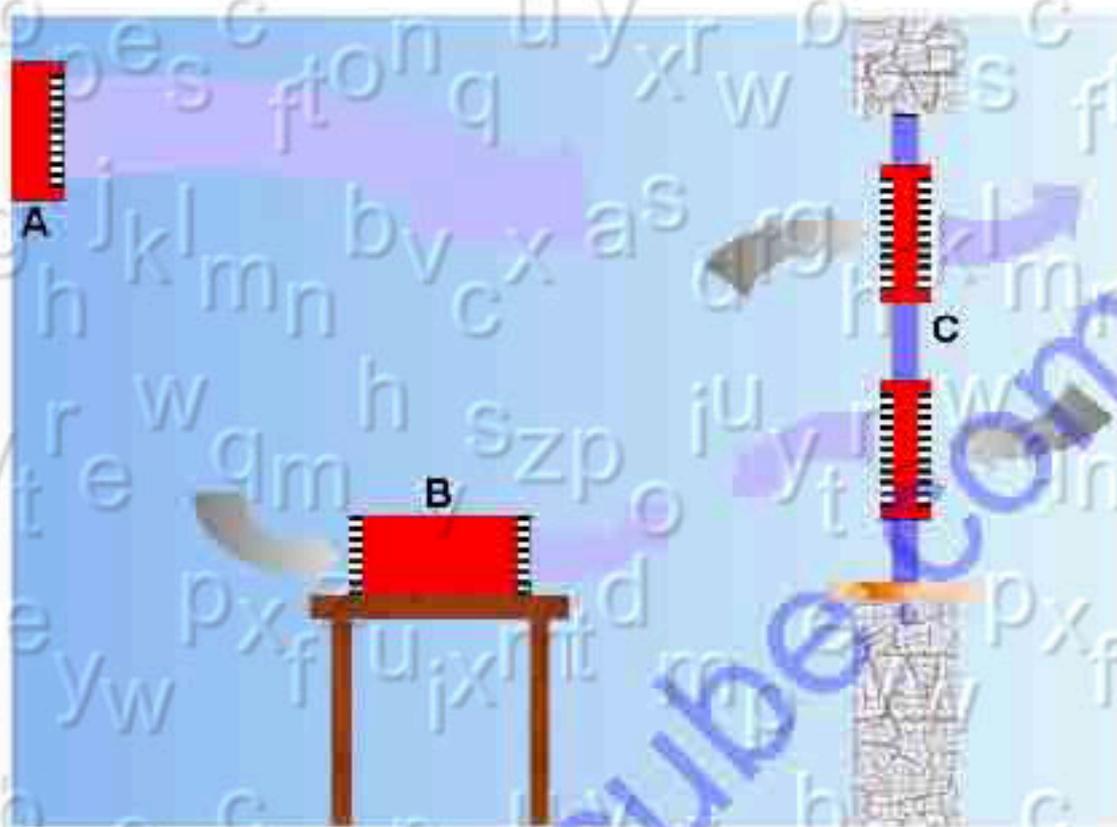


Figura 10

I dispositivi di ventilazione elettrostatica potrebbero idealmente sostituire i ventilatori meccanici in molte applicazioni, come le unità interne dei condizionatori "split" (A), i depuratori d'aria (B), gli aeratori da finestra (C), sfruttando appieno le loro caratteristiche di silenziosità ed efficienza di filtrazione dell'aria.