



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**“LA PROBLEMATICHE DEL FUMO CHIRURGICO: POTENZIALI RISCHI
PER PAZIENTI E PERSONALE MEDICO E TECNOLOGIE PER
MITIGARLI”**

Relatore: Prof. Giovanni Sparacino

Laureando: Riccardo Michelotto

ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022

Data di laurea 22-09-2022.

INDICE

SOMMARIO	pag.3
1-LA PROBLEMATICA DEL FUMO CHIRURGICO	
1.1- ORIGINE E COMPOSIZIONE	pag.4
1.2-RISCHIO CHIMICO	pag.7
1.3-RISCHIO FISICO	pag.8
1.4-RISCHIO BIOLOGICO	pag.9
1.5- ULTERIORI VANTAGGI PER LA PRATICA CLINICA DERIVANTI DALL'EVACUAZIONE DEI FUMI CHIRURGICI	pag.11
1.6- IL RUOLO DELL'INGEGNERIA CLINICA NELLA SCELTA E NELL'USO DELLE TECNOLOGIE PER MITIGARE I RISCHI DEI FUMI	pag.12
2-SISTEMI PER L'ASPIRAZIONE DEI FUMI CHIRURGICI	
2.1-TIPOLOGIE	pag.14
2.2-CARATTERISTICHE GENERALI	pag.15
2.3-ULTERIORI ACCESSORI UTILI	pag.16
3-CONTROLLI E PROCEDURE	
3.1-PRIMA DELL'INTERVENTO	pag.19
3.2-DURANTE L'INTERVENTO	pag.20
3.3- DOPO L'INTERVENTO	pag.21
4-ESEMPI DI SISTEMI DI ASPIRAZIONE DEI FUMI	
4.1- IL SISTEMA MEDTRONIC RAPIDVAC	pag.22
4.2-IL SISTEMA CONMED VISICLEAR	pag.25
4.3-IL SISTEMA CONMED PLUMEPOR	pag.28
5- CONCLUSIONE	pag.29
5.1-BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	pag.30

SOMMARIO

La seguente tesi si propone di discutere i possibili rischi per i pazienti e per il personale medico derivanti dall'esposizione al fumo prodotto durante gli interventi chirurgici, e di trattare alcuni sistemi e apparecchiature finalizzate all'evacuazione dei fumi che ho avuto modo di conoscere e approfondire durante l'attività di tirocinio che ho svolto presso il Servizio Ingegneria Clinica dell'azienda ospedaliera di Padova.

Nel corso del tirocinio ho avuto modo di svolgere le seguenti attività:

- registrazione di collaudi di accettazione delle nuove apparecchiature introdotte nella struttura ospedaliera;
- effettuazione di verifiche di sicurezza elettrica di alcuni apparecchi e dispositivi elettromedicali;
- supervisione di gare tra aziende fornitrici di apparecchiature elettromedicali

Durante l'attività di tirocinio ho avuto inoltre l'opportunità di conoscere e collaborare con professionisti di settore, di affrontare alcune problematiche relative alla gestione delle numerose apparecchiature presenti in un ospedale e di apprendere il funzionamento di molti dispositivi medici quali ad esempio ecografi, emogasanalizzatori, saturimetri e appunto aspiratori di fumi chirurgici. La rimozione dei fumi prodotti in sala operatoria è una problematica recente a cui negli ultimi anni si sta prestando sempre maggiore attenzione, specialmente in seguito al maggior impiego della laparoscopia, al crescente utilizzo di strumenti elettrochirurgici che producono fumo e ai numerosi studi che dimostrano gli effetti nocivi che il suo assorbimento nell'organismo può comportare per il personale medico e per i pazienti. Durante il tirocinio ho potuto approfondire tematiche riguardanti i rischi legati alla presenza dei fumi in sala operatoria, alle apparecchiature predisposte per l'aspirazione e alle procedure da seguire per lavorare in modo sicuro ed efficace.

CAPITOLO 1- LA PROBLEMATICAM DEL FUMO CHIRURGICO

1.1-ORIGINE E COMPOSIZIONE

Il fumo chirurgico, anche detto aerosol (“pennacchio di fumo”), è un sottoprodotto potenzialmente nocivo generato dall'utilizzo, durante le operazioni chirurgiche, di laser, manipoli elettrochirurgici, strumenti a ultrasuoni e altri dispositivi con sorgente elettrica che producono calore ^{[1], [2]}. Il padre fondatore dell'elettrochirurgia è William Bovie che realizzò il primo dispositivo elettrochirurgico utilizzato con successo dal chirurgo Harvey Williams Cushing nel 1926 in un'operazione di neurochirurgia. Con il passare degli anni si è potuta osservare un'evoluzione tecnologica della strumentazione e un sempre più vasto utilizzo.

Alcuni esempi di apparecchi biomedicali che producono fumo chirurgico sono:

- dissestori a radiofrequenza e a ultrasuoni;

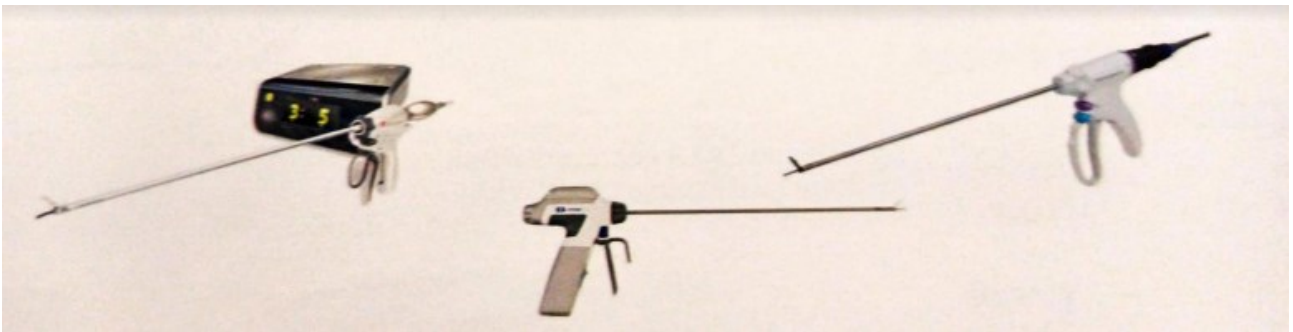


Fig. 1.1: esempio di dissestori a radiofrequenza e a ultrasuoni, tratto da <https://www.conmed.com>

- motori e seghe per ossa. Si tratta di strumenti elettrochirurgici utilizzati negli interventi ortopedici;



Fig. 1.2: esempio di sega ossea, modello Hall Titan, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Surgical-Power-Tools>

- elettrobisturi, con funzioni di taglio o di coagulo di tessuti e vasi sanguigni. Si compone di un generatore di segnali ad alta frequenza, un elettrodo attivo e un elettrodo neutro di ritorno. In particolare l'elettrobisturi monopolare, il quale si differenzia dall'elettrobisturi bipolare per la presenza di un unico elettrodo (che viene posizionato sul tessuto d'azione e svolge sia la funzione di elettrodo attivo che trasmette corrente sia di elettrodo neutro che la riceve), produce una quantità di aerosol maggiore.



Fig. 1.3: esempio di elettrobisturi, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Electrosurgical-Units>

La composizione del fumo chirurgico varia in relazione alla fonte energetica, al tipo di tessuto e alla potenza usata.

In generale comunque il fumo chirurgico è composto al 95% da vapore acqueo e nel restante 5% da altre sostanze le quali sono in gran parte dannose per la salute del personale medico e dei pazienti.

Queste sostanze sono infatti agenti contaminanti e possono essere suddivise in tre categorie:

- componenti chimici, quali ad esempio il benzene, l'acido cianidrico, il toluene, il benzene, l'acido e il monossido di carbonio;
- componenti fisici, che consistono in microparticelle respirabili;
- componenti biologici, quali virus, batteri, sangue e altri tessuti.

Ad ognuna di queste categorie sono associati determinati rischi che saranno trattati in seguito.

Il vapore acqueo invece è di per sé innocuo, tuttavia può fungere da trasportatore per batteri, virus e altri componenti biologici che possono essere dannosi per l'organismo.

1.2- RISCHIO CHIMICO

Il rischio chimico è dovuto alla presenza nel fumo di oltre ottanta composti tossici chimici differenti e altri sottoprodotti.

Per alcuni di questi sono stati documentati effetti dannosi sulla salute del paziente e del personale chirurgico ^[3]. Oltre quaranta di questi componenti sono stati classificati come cancerogeni.

I principali composti chimici nocivi identificati sono i seguenti:

- Il benzene: è un idrocarburo aromatico monociclo le cui molecole sono composte da sei atomi di carbonio che formano un esagono, ciascuno connesso con un atomo di idrogeno. È cancerogeno di classe 1 e può essere causa di leucemie e di tumori del sangue. È dimostrato inoltre ^[3] che il benzene si diffonde attraverso la placenta ed è tossico per il feto, costituendo quindi un fattore di rischio per le donne in gravidanza;
- L'acido cianidrico: composto neurotossico, impiegato nelle armi chimiche;
- Toluene: idrocarburo aromatico, anche se meno tossico rispetto al benzene può provocare irritazioni a naso e occhi, debolezza, vertigini, dermatiti, perdita di udito e vista a colori e, in caso di esposizione prolungata, danni anche a fegato e reni;
- Formaldeide: composto organico in forma di vapore, altamente irritante per le vie aeree superiori. Può causare irritazione e bruciore a occhi, naso, gola e pelle, inoltre è cancerogeno e una lunga esposizione può aumentare il rischio di tumori a naso, gola e sangue;
- Etilbenzene: idrocarburo che può avere effetti sull'apparato respiratorio e effetti neurologici come vertigini oltre che provocare irritazione a gola e occhi;
- Tetracloroetene: elencato come cancerogeno per l'uomo in "the Twelfth Report on Carcinogens"^[4], l'esposizione contenuta può provocare sintomi come irritazione, sonnolenza e vertigini.
- Monossido di carbonio: composto che provoca intossicazione. Infatti le molecole di monossido hanno una maggiore affinità duecentodieci volte maggiore per l'emoglobina rispetto alle molecole di O₂, pertanto si legano all'emoglobina al posto dell'ossigeno formando un composto noto come carbossiemoglobina (COHb), il quale influenza anche il rilascio fisiologico dell'ossigeno da parte della restante frazione di emoglobina che manifesta quindi minore tendenza a rilasciare O₂ ai tessuti, Tutto ciò provoca torpore e nei casi più gravi si può incorrere in svenimenti e coma.
- Butadiene: composto considerato cancerogeno per l'uomo dall'EPA, può inoltre portare a effetti avversi quali sonnolenza, vertigini, battito irregolare e mal di testa.

Si stima che la concentrazione di benzene e butadiene nel fumo chirurgico sia dalle sette alle dieci volte maggiore di quella presente nel fumo di sigaretta passiva ^[5].

In uno studio ^[6] sono state condotte dieci mastectomie al fine di valutare il rischio di tumore per lo staff chirurgico, misurando la concentrazione del numero di particelle e degli idrocarburi aromatici policiclici (PAH). Sono state rilevate alte concentrazioni di PAH, in media dalle venti alle trenta volte più alte di quelle dell'ambiente naturale (131-1415 nanogrammi su metro cubo). È stato calcolato quindi il rischio dell'insorgenza di tumore per chirurghi e anestesisti, pari rispettivamente a $117 \cdot 10^{-6}$ e $270 \cdot 10^{-6}$. Per l'anestesista tale rischio è maggiore a causa del maggior numero di ore di lavoro in sala operatoria.

Pertanto l'effetto cancerogeno delle sostanze di cui sopra, e in particolar modo degli idrocarburi aromatici policiclici, non può essere ignorato e occorre adoperare tutte le misure di precauzione e prevenzione al fine di ridurre i rischi. A tal fine, uno studio prospettico randomizzato ^[7] è stato condotto per valutare l'utilità dell'uso di sistemi di evacuazione dei fumi in termini di riduzione della quantità di inquinanti presenti nelle sale operatorie e dell'esposizione del personale medico ai componenti volatili, alla formaldeide e all'acetaldeide. È risultato che la concentrazione media di queste sostanze fosse nettamente inferiore quando era in funzione l'aspiratore di fumo.

1.3-RISCHIO FISICO

Il rischio fisico derivante dall'assunzione del fumo attraverso le vie respiratorie è causato dalle componenti fisiche presenti nell'aerosol, ovvero particelle di dimensioni da 0,01 micron di diametro fino ai 200 micron. Il diametro delle particelle di particolato varia in base agli apparecchi elettromedicali utilizzati:

- elettrochirurgia: diametro inferiore a 0,1 micro;
- laser: diametro medio di 0,3 micron
- bisturi e altri strumenti a ultrasuoni: diametro compreso tra 0,35 e 6,5 micron

A prevalere nel particolato del fumo sono comunque le particelle comprese tra 0,3 e 0,5 micron, e la dimensione media è di 1,1 micron. Queste particelle ultra fini sono presenti in sala operatoria in quantità significative e si presentano come polveri molto sottili. In particolare è documentato che le particelle di dimensioni inferiori agli 0,3 micron possono superare i normali meccanismi di filtrazione di polmoni, ciglia e secrezione di muco. In questo modo riescono a depositarsi negli alveoli polmonari, luogo in cui avviene lo scambio gassoso del sangue. Una volta che il particolato è entrato negli alveoli non può più essere espulso, poiché viene inglobato dai macrofagi come corpo

estraneo. Ciò comporta che queste particelle possono entrare in circolo nel sangue o nel sistema linfatico e raggiungere altri organi causando infezioni e processi infiammatori.

Inoltre, il fumo chirurgico ha effetti analoghi a quelli del fumo da sigaretta con azione paralizzante per le ciglia. Secondo uno studio del 2012 eseguito in Inghilterra sulle operazioni di chirurgia plastica si stima che il fumo prodotto giornalmente equivalga in media a quello prodotto dalle ventisette alle trenta sigarette [5].

Le mascherine chirurgiche non forniscono protezione adeguata. Esse infatti possono essere utili solo al fine di catturare le particelle di dimensioni maggiori di 5 micron.

A causa delle correnti d'aria presenti in sala operatoria, il fumo tende a distribuirsi omogeneamente. Le particelle di fumo viaggiano a una velocità di circa 65 chilometri orari, e la concentrazione entro appena i primi cinque minuti di attivazione dell'elettrocauterizzatore sale dai due ai trentatré milioni al metro cubo. Terminata l'attivazione sono necessari almeno venti minuti affinché nella sala venga ripristinata la concentrazione normale.

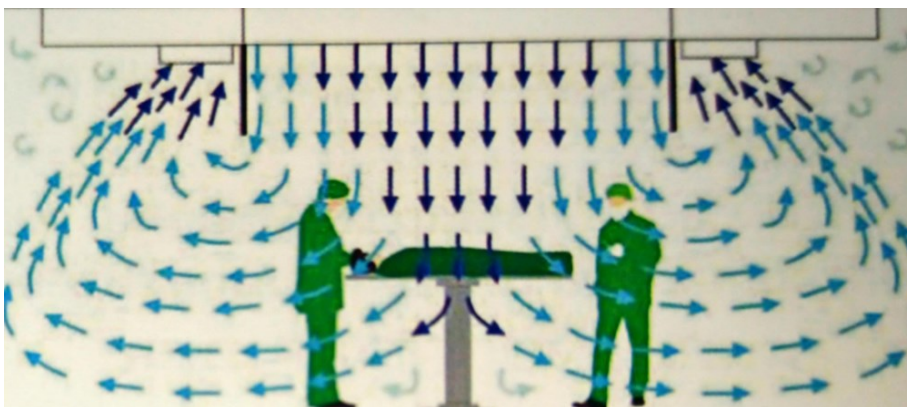


Fig. 1.4: schema diffusione del fumo chirurgico nella sala operatoria, tratto da brochure Conmed

1.4- RISCHIO BIOLOGICO

Un ulteriore pericolo per il personale medico è dovuto alla possibile presenza di batteri e virus che possono essere trasportati nell'aerosol. Il vapore acqueo è un ottimo carrier di particelle di tessuto e sangue, che possono contenere virus e batteri nocivi per l'organismo.

Alcuni virus trasmissibili sono:

- HIV (Human Immunodeficiency Virus): virus che causa un'infezione che se non trattata causa la sindrome da immunodeficienza acquisita (AIDS) che consiste in un indebolimento del sistema immunitario.

- HPV (Human Papilloma Virus): virus estremamente diffuso nella popolazione che si trasmette principalmente per via sessuale. Secondo l'Organizzazione mondiale della Sanità esistono oltre duecento genotipi di HPV, di cui tredici sono noti per causare tumori. Solitamente l'infezione provocata da questi virus non causa nessuna alterazione e si risolve da sola, ma se invece si prolunga nel tempo allora possono insorgere malattie della cute e mucose, le quali possono progredire lentamente e generare forme tumorali come il cancro al collo dell'utero, alla bocca, all'ano, all'esofago e alla laringe;
- HBV (Hepatitis B Virus): virus che presenta un doppio filamento di DNA circolare che grazie alla DNA polimerasi utilizza la trascrizione inversa per la sua replicazione. La trasmissione del virus avviene tramite esposizione a sangue infetto o a fluidi corporei. Colpisce il fegato provocando l'infiammazione nota come epatite;
- catene di DNA umano e virale;

Inoltre nel fumo è stata riscontrata anche la presenza di cellule intatte tumorali [6].

Sebbene non ci siano ancora evidenze che confermino che SARS-CoV-2, il virus che causa il COVID-19, sia trasmissibile attraverso il fumo chirurgico, tale rischio non è da escludersi [2].

Bisogna inoltre considerare che minore è la dimensione delle particelle maggiore è la distanza e la profondità che queste possono raggiungere. In seguito sono riportate le dimensioni di alcuni possibili fattori di rischio biologico che possono essere presenti nel fumo chirurgico.

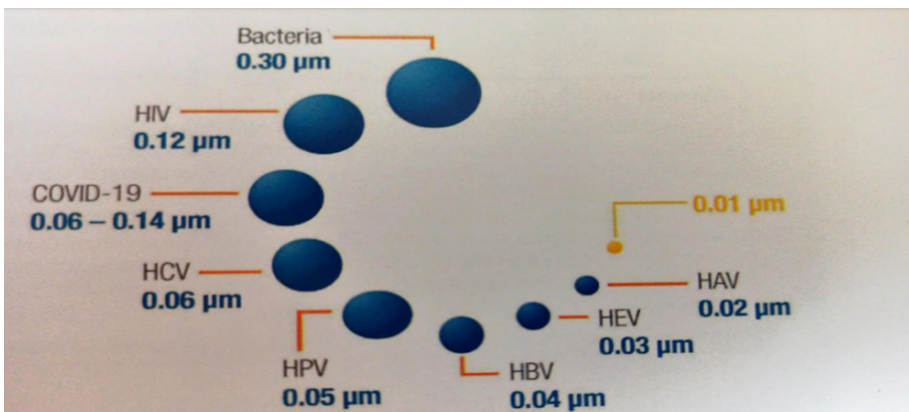


Fig. 1.5: schema che mette a confronto le dimensioni di vari virus e batteri che si possono trovare nei fumi chirurgici, tratto da brochure Conmed.

In una ricerca [8] è stato riportato che il personale infermieristico peri operatorio ha il doppio di problemi respiratori rispetto al resto della popolazione, quali possono essere nausea, respiro corto, broncospasmo, asma e allergie. Inoltre, secondo le stime del United States Department of Labour, negli Stati Uniti circa mezzo milione tra infermieri, chirurghi, anestesisti e tecnici di sala operatoria sono esposti ogni anno ai rischi biologici dei fumi chirurgici.

In letteratura sono riportati ^[9] vari casi di infezioni attribuite all'esposizione al fumo chirurgico in sala operatoria. Uno di questi riguarda un ginecologo di sessantadue anni, il quale dopo trent'anni di lavoro di ablazione laser ha riscontrato un carcinoma a cellule squamose sulla base della lingua ed è risultato positivo al genotipo 16 dell'HPV (esiste infatti una forte evidenza che supporta una relazione causale tra i genotipi oncogeni HPV e i carcinomi a cellule squamose del capo-collo). Un altro ginecologo di cinquantatré anni ha presentato un carcinoma a cellule squamose alle tonsille positivo allo stesso genotipo HPV e gli è stato riconosciuto un risarcimento per danno da esposizione ai fumi chirurgici nei suoi vent'anni di lavoro. Entrambi non avevano altri fattori di rischio identificabili. Un ultimo caso ^[10] riguarda infine il chirurgo ortopedico Anthony Hedley, al quale è stata diagnosticata una fibrosi idiopatica polmonare ed è stato sottoposto a un doppio trapianto di polmone. Non aveva mai fumato sigarette e non aveva altri fattori di rischio, e prima della diagnosi aveva eseguito più di undici mila interventi di impianti protesici e speso più di trenta mila ore in sala operatoria.

1.5- ULTERIORI VANTAGGI PER LA PRATICA CLINICA DERIVANTI DALL'EVACUAZIONE DEI FUMI CHIRURGICI

Da quanto trattato possiamo osservare l'importanza e la necessità di adoperare dei sistemi di aspirazione dei fumi per salvaguardare la salute dei pazienti e dello staff medico.

Tuttavia oltre a minimizzare i rischi associati all'esposizione ai componenti fisici, biologici e chimici, la rimozione del fumo chirurgico comporta altri vantaggi non di poco conto per la pratica clinica. Il fumo prodotto da laser o da elettrobisturi infatti può causare impedimenti alla visione durante le procedure laparoscopiche e in particolar modo nelle operazioni di ablazione dei tessuti. La visibilità è un prerequisito imprescindibile per il successo di queste procedure, e tale mancanza può comportare:

- disturbo e allungamento dei tempi necessari al completamento dell'operazione: il personale chirurgico deve infatti procedere con più cautela e pulire periodicamente le lenti appannate a causa del fumo;
- maggior rischio di errori;
- aumento del rischio di complicanze: ad esempio se durante un'operazione il chirurgo che sta coagulando la testa del femore deve fermarsi a pulire lenti e altri strumenti, nel frattempo l'emorragia prosegue. L'acqua che si forma oltre ad appannare l'ottica impedisce il coagulo rendendo la crosta più escara.

Inoltre l'inalazione di fumo chirurgico può provocare nausea, mal di testa e altri sintomi al paziente, peggiorando la qualità della cura.

1.6- IL RUOLO DELL'INGEGNERIA CLINICA NELLA SCELTA E NEL'USO DELLE TECNOLOGIE PER MITIGARE IL RISCHIO DEI FUMI

In seguito al forte aumento della tecnologia a partire dagli anni '80 le tecnologie è stato necessario per le strutture sanitarie fare ricorso a una organizzazione avente competenze specifiche in materia, al fine di gestire l'enorme numero di dispositivi e apparecchi elettromedicali utilizzati per varie finalità che vanno dalla diagnosi alla terapia, dalla riabilitazione alla ricerca. Per far fronte a queste necessità garantendo al tempo stesso il rispetto delle leggi e delle normative in materia di sicurezza è nato il Servizio di Ingegneria Clinica (SIC), il quale svolge principalmente servizi di:

- Inventariazione e registrazione delle apparecchiature elettromedicali e di laboratorio presenti nei vari reparti dell'azienda ospedaliera con una gestione sia informatizzata che cartacea;
- Risoluzione interna delle problematiche interne dei dispositivi oppure consulenza da parte delle ditte fornitrici per problematiche tecniche più specifiche;
- Coordinamento con altri servizi dell'ospedale per la risoluzione di problematiche tecniche e organizzative;

Inoltre il SIC deve essere sempre aggiornato sulle tecnologie emergenti in campo medico per un'attenta valutazione critica finalizzata all'acquisto di nuovi dispositivi utili a migliorare la pratica clinica. Tra questi dispositivi troviamo anche i sistemi di aspirazione dei fumi chirurgici, la cui scelta e gestione richiede la collaborazione fra più figure con diverse competenze (tecniche, cliniche, amministrative, gestionali, ecc.) al fine di adempiere le seguenti funzioni:

- predisposizione di procedure per l'acquisto delle apparecchiature, incluse le valutazioni preliminari all'acquisto;
- programmazione per l'introduzione di nuove tecnologie;
- sostituzione programmata di apparecchiature e dispositivi;
- accettazione e collaudo delle nuove apparecchiature introdotte.

Per quest'ultima funzione è necessaria una procedura di: verifica della corrispondenza tra la documentazione della ditta fornitrice e i prodotti effettivamente consegnati, ispezione del dispositivo e svolgimento dei necessari test di sicurezza elettrica, e infine registrazione e schedatura dell'apparecchiatura.

Dal momento in cui un dispositivo entra a far parte del “parco macchine” dell’ente ospedaliero, questo deve essere sottoposto a un controllo periodico e a una manutenzione programmata di tipo preventivo, oltre che correttivo nel caso in cui si verifichi un malfunzionamento. Per l’adempimento di questi compiti è predisposto uno specifico settore dell’Ingegneria Clinica, il quale si occupa di valutare, eseguire manutenzioni e riparazioni e all’occorrenza sostituire apparecchiature divenute obsolete al fine di garantire un’elevata qualità, efficienza e sicurezza degli strumenti impiegati nei reparti. Gli elementi fondamentali di questo servizio sono i seguenti:

- un archivio informatico e cartaceo, il quale contiene tutte le informazioni per ogni elettromedicale. Esso prende il nome di libro macchina;
- procedure di calibrazione periodica e manutenzione preventiva;
- attività di riparazione, interna o affidata a ditte esterne;
- procedura di alienazione dei dispositivi.

Tra tutti gli organi di questo settore è necessaria una forte collaborazione per assicurare un’adeguata sicurezza al paziente e al personale medico e fornire apparecchiature elettromedicali all’avanguardia e di qualità.

CAPITOLO 2- SISTEMI DI ASPIRAZIONE DEL FUMO CHIRURGICO

2.1- TIPOLOGIE

Esistono vari sistemi di evacuazione dei fumi chirurgici che possono essere preferibili a seconda degli ambiti di applicazione, che sono: chirurgia open (anche detta tradizionale o laparotomia), chirurgia laparoscopica e chirurgia ambulatoriale. Ognuno di questi ambiti di applicazione ha le proprie esigenze e peculiarità, e per far fronte ad esse possiamo trovare in commercio:

- Filtri passivi monouso



Fig. 2.1: esempio di filtro passivo monouso, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Laparoscopic-Solutions>

- Filtri attivi monouso



Fig 2.2: esempio filtro attivo monouso PlumePort Active

- Apparecchi “fissi”



Fig. 2.3: sistema di aspirazione Conmed VisiClear, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Smoke-Evacuators-and-Filters>

Questi ultimi apparecchi possono essere utilizzati per operazioni ambulatoriali, laparotomiche e anche laparoscopiche se il motore è compatibile con la diversa portata di aspirazione dovuta al tubo accessorio da 22 millimetri. I più moderni utilizzano un filtro a quattro stadi, il più importante dei quali è il filtro ULPA (Ultra Low Penetration Air, filtro per aria a penetrazione ultra bassa) che cattura la materia particolata e i microorganismi fino a $0,1 \mu\text{m}$ con un'alta efficienza. Tali particelle sono pericolose e vanno opportunamente smaltite. Possiamo trovare anche un filtro a carbonio attivo che, grazie alla pressione esercitata sulle pareti della membrana interna di carbonio, permette di trattenere gli odori. In questo modo l'eventuale presenza di odori può essere considerato un allarme di malfunzionamento del filtro.

Possono essere utilizzati solo nelle operazioni di laparoscopia invece i filtri monouso, i quali non dispongono di un generatore e hanno una durata più limitata (circa dalle quattro alle sei ore). I filtri attivi si attaccano per mezzo di due tubi al trocar da una parte e al vuoto centralizzato a muro dall'altra, e hanno il vantaggio di poter regolare la quantità di aspirazione desiderata. I filtri passivi invece sono attaccati solo al trocar e l'aspirazione è limitata e dipende dalla pressione che esce dal trocar quando l'addome si gonfia. Entrambi questi sistemi hanno lo svantaggio di non poter essere più utilizzati nei casi in cui è necessario convertire l'intervento da laparoscopico a laparotomico. Pertanto può essere più conveniente l'utilizzo di apparecchi fissi, purché siano compatibili anche per operazioni laparoscopiche.

2.2- CARATTERISTICHE GENERALI

In generale comunque un buon sistema per evacuare i fumi prodotti negli interventi chirurgici deve possedere le seguenti caratteristiche:

- potenza sufficiente per aspirare grandi quantità di fumo in modo efficace;
- possibilità di regolare la potenza erogata;

- silenziosità al fine di non disturbare gli operatori durante l'intervento;
- lunga durata del filtro;
- compatibilità con elettrodi, trocar e altri strumenti disponibili sul mercato;
- possibilità di integrazione con altri sistemi di aspirazione già presenti nella sala operatoria;
- comodità di utilizzo ed ergonomia degli accessori;

In laparoscopia in particolare è importante che l'aspiratore sia indipendente dall'elettrobisturi, in modo che si possa avviare subito il flusso necessario all'aspirazione e continuare ad aspirare il fumo residuo anche quando l'elettrobisturi non è più in funzione.

2.3- ULTERIORI ACCESSORI UTILI

Altri accessori aggiuntivi che possono essere utilizzati in un sistema di evacuazione sono:

- adattatori e connettori;
- prefiltri
- trappole per fluidi;
- manipoli di aspirazione
- filtri in linea

Gli adattatori consentono una maggiore flessibilità affinché il personale chirurgico possa utilizzare questi sistemi di aspirazione insieme ad accessori di comodo utilizzo o di costi inferiori.

Oltre ai tubi "classici" esistono in commercio anche tubi con una valvola in grado di bloccare automaticamente il pneumo che si può rischiare di aspirare quando l'aspiratore è spento e la pressione nell'addome aumenta negli interventi di laparoscopia.

Negli interventi ambulatoriali è invece fondamentale utilizzare tubi specifici da posizionare vicino al sito chirurgico evitando di andare a toccare e rischiare di contaminare il paziente. Tali tubi sono monouso ma non monopaziente. Un esempio è il tubo da speculum, che viene impiegato nella chirurgia ginecologica. Il tubo si connette con un attacco a cono allo speculum, il quale tiene aperte le pareti vaginali. Aspirando il fumo si permette al chirurgo di avere una buona visibilità per poter operare al meglio e inoltre il personale chirurgico non corre il rischio di infezioni virali (come quelle da HIV e HPV).

I prefiltri proteggono l'aspiratore filtrando solo le particelle solide del fumo, mentre le trappole per fluidi sono più efficaci in quanto riescono a catturare anche sangue e altri liquidi che si originano dall'intervento chirurgico e che rischiano di sporcare e danneggiare il dispositivo. Possono essere attaccate all'esterno del filtro aspiratore oppure inserite a parte e collegate al filtro e al manipolo.

Quest'ultima alternativa è preferibile poiché permette di sostituire la trappola per fluidi non appena è sporca, senza dover aspettare di cambiare il filtro.



Fig. 2.4: esempio di trappola per fluidi

I manipoli di aspirazione possono essere telescopici o non telescopici e sono utilizzati nella chirurgia open. Si collegano con un tubo corrugato all'apparecchio che filtra il fumo e sono dotati di due pulsanti che attivano le modalità di taglio o di coagulo dei tessuti. Funzionano come un elettrobisturi con in più la possibilità di aspirare il fumo chirurgico attraverso la stessa cannula dove viene inserito l'elettrodo oppure attraverso una cannula separata. Un buon manipolo di aspirazione deve essere ergonomico, leggero, e maneggevole in modo da agevolare il chirurgo che lo utilizza. Deve disporre di punte intercambiabili ed eventualmente allungabili e bloccabili. Nella chirurgia laparoscopica invece il dispositivo viene connesso al trocar.

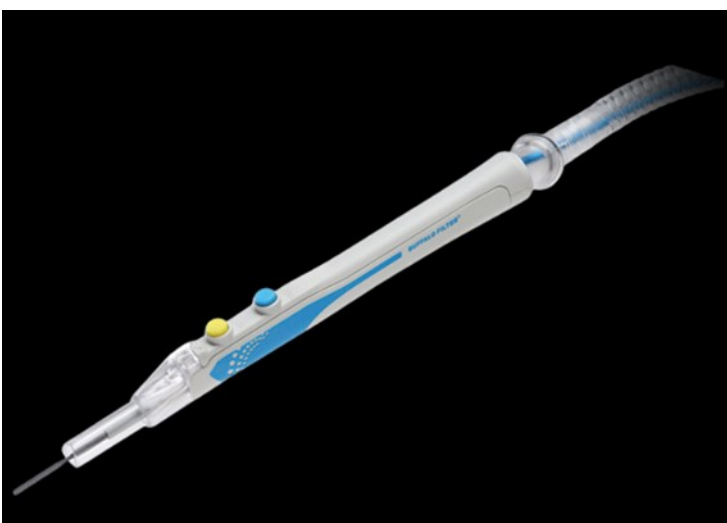


Fig. 2.5: esempio di manipolo di aspirazione, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Smoke-Pencils>

Infine può essere utile l'utilizzo di un filtro in linea, ovvero un filtro di qualità ULPA che si collega al vuoto a muro e al cannister (cestello di raccolta) , al fine di trattenere le particelle gassose residue dal sistema di vuoto centralizzato della sala operatoria. Tale filtro ha una durata massima di alcuni giorni.

CAPITOLO 3- CONTROLLI E PROCEDURE

3.1- PRIMA DELL'INTERVENTO CHIRURGICO

Qualunque dispositivo di evacuazione dei fumi chirurgici prima di poter essere utilizzato in un ambulatorio durante un intervento chirurgico deve necessariamente essere sottoposto a:

- ispezione;
- installazione iniziale;
- controllo ed esame del dispositivo prima di ogni utilizzo;
- nel caso in cui il dispositivo sia utilizzato per operazioni di chirurgia a cielo aperto, preparazione per l'evacuazione di fumo secco e di eventuali fluidi accidentali;

L'ispezione periodica deve avvenire almeno una volta all'anno o ogni due anni, a seconda della complessità dello strumento, e comprende controlli riguardanti:

- eventuali danni al cavo (o alla presa) di alimentazione;
- tenuta della presa di alimentazione;
- corrispondenza corretta, pulizia e assenza di danni all'ingresso al filtro;
- danni evidenti, esterni o interni, al sistema;

Durante l'installazione iniziale occorre esaminare il cavo di alimentazione per rilevare eventuali segni di danni visibili, e se le sue condizioni sono buone, inserire il cavo in una presa a parete collegata a terra. Dopodiché si inserisce il filtro, si accende il dispositivo premendo l'interruttore di alimentazione e si procede a testarne il funzionamento.

Prima di ogni utilizzo si consiglia di verificare il funzionamento e le prestazioni del filtro ULPA, dei comandi del flusso dell'aria e, se presenti, dell'interruttore a pedale e del cavo di concatenazione del generatore. Inoltre è opportuno controllare la durata del filtro, ed eventualmente provvedere alla sua sostituzione, facendo attenzione a trattare i filtri usati come materiali biologicamente pericolosi.

Indicatori di durata del filtro illuminati	Uso residuo
Tutti	Da 25 a 20 ore
4	Da 20 a 15 ore
3	Da 15 a 10 ore
2	Da 10 a 5 ore
1 (verde)	Da 5 ore a 1 ora
1 (gialla)	Meno di 1 ora
1 (giallo lampeggiante)	Meno di 30 minuti

La tabella mostra la durata residua del filtro ULPA di un aspiratore Medtronic Rapidvac (durata massima di 25 ore), la quale può essere dedotta in base al numero di indicatori che si illuminano e al colore di questi.

Nelle procedure di chirurgia aperta, un contenitore di fluido è consigliato per evitare che i filtri si inumidiscano durante l'evacuazione di fumo che potrebbe contenere fluidi accidentali. Il livello di fluido in tale contenitore va controllato frequentemente, poiché da un riempimento eccessivo ne deriverebbero danni al sistema di evacuazione. Inoltre non si deve collegare più di un set di tubazioni alla volta al dispositivo di evacuazione dei fumi per non influenzare negativamente i livelli di aspirazione e il flusso dell'aria.

3.2- DURANTE L'INTERVENTO CHIRURGICO

Il dispositivo di evacuazione dei fumi produce un vuoto spinto e se è attivato mentre il flusso dell'aria è impostato ad una velocità elevata, potrebbe provocare una improvvisa e forte azione di aspirazione. È importante quindi regolare il flusso dell'aria e la posizione dell'estremità di ingresso della bacchetta o della tubazione per evitare lesioni al paziente e per evitare l'aspirazione di materiali chirurgici e di campioni chirurgici. Alcune variabili che potrebbero influenzare il flusso d'aria sono: le impostazioni (modificabili) dei flussi d'aria, gli attacchi e il diametro della tubazione. Quest'ultimo fattore è importante in quanto con tubazioni di diametro maggiore, il flusso dell'aria è maggiore.

Occorre poi adoperarsi per ridurre al minimo il rumore, utilizzando un'impostazione di potenza ridotta. L'efficienza di un'impostazione di potenza ridotta può essere resa massima utilizzando una tubazione di diametro maggiore e avvicinando maggiormente la tubazione alla sorgente del fumo.

Le linee guida AORN (Association of perioperative registered nurses) affermano che il dispositivo di cattura deve essere necessariamente posizionato il più vicino possibile al sito dell'operazione chirurgica al fine di catturare nella maniera più efficiente ogni traccia di fumo chirurgico. Per ottenere i migliori risultati il sistema di cattura dovrebbe essere posizionato a una distanza non superiore a otto inches (venti centimetri) e con un'angolazione di circa quarantacinque gradi [11]. Durante l'intervento si consiglia infine di controllare periodicamente la durata residua del filtro e che la tubazione non risulti intasata, occlusa o attorcigliata. Nel caso in cui sia utilizzata una protezione di spugna, bisogna verificare che sia completamente fissata alla tubazione sterile per evitare l'aspirazione di materiali chirurgici.

3.3- DOPO L'INTERVENTO CHIRURGICO

Una volta che è terminato l'intervento chirurgico occorre preparare il dispositivo di evacuazione dei fumi per un successivo riutilizzo eseguendo due operazioni.

La prima operazione riguarda la rimozione della tubazione, premendo l'interruttore di alimentazione posto sul pannello frontale per disattivare il dispositivo di evacuazione dei fumi e scollegando la tubazione dal dispositivo e da eventuali strumenti riutilizzabili che non saranno scartati.

La seconda invece è la pulizia del dispositivo, sempre dopo averlo spento e scollegato dall'alimentazione. È fondamentale indossare abbigliamento di protezione appropriato quando si puliscono le porte dei filtri e la bandella protettiva per evitare il contatto con agenti contaminanti accidentali su queste superfici. Non si possono utilizzare alcol o detersivi caustici per pulire il dispositivo, né altri materiali corrosivi o abrasivi che potrebbero graffiare il pannello di controllo o provocare altri danni. Occorre invece strofinare a fondo tutte le superfici esterne con un detersivo delicato o un disinfettante prestando particolare attenzione a non spruzzare detergente liquido nelle porte dei filtri.

Prima di riutilizzarlo bisogna verificare che il dispositivo di evacuazione dei fumi sia completamente asciutto. Ovviamente non devono essere né riutilizzati né sterilizzati accessori contrassegnati come "usa e getta" o "monouso".

CAPITOLO 4- ESEMPI DI SISTEMI DI ASPIRAZIONE DEI FUMI

4.1- IL SISTEMA MEDTRONIC RAPIDVAC ^[12]

Il primo sistema di evacuazione dei fumi che ho potuto osservare durante il tirocinio è l'aspiratore fisso RapidVac, prodotto dall'azienda Medtronic, progettato in maniera specifica per migliorare la visibilità e ridurre i rischi potenziali per la salute associati al fumo chirurgico. Può essere utilizzato sia in procedure aperte che laparoscopiche. Il dispositivo è progettato con una pompa ad azione centrifuga ad elevata portata ed elevata aspirazione. Il motore, estremamente silenzioso, è utilizzato per estrarre il fumo dal sito chirurgico attraverso la tubazione di vuoto e nel sistema, dove è trattato da una serie di filtri. Un singolo filtro monouso è utilizzato per semplificare l'installazione e la rimozione durante le sostituzioni del filtro. Il filtro è completamente racchiuso per proteggere il personale sanitario dalla potenziale contaminazione durante le sostituzioni del filtro. Un filtro SEA3700 contiene quattro fasi di filtraggio per catturare i fumi chirurgici tissutali:

- Fase 1 - Un prefiltro che intrappola e rimuove il materiale particellare di grandi dimensioni e i fluidi accidentali.
- Fase 2 - Un filtro brevettato di qualità ULPA, che cattura la materia particellare e i microorganismi fino a 0,1 μm con un'efficienza del 99,9995%.
- Fase 3 – Un filtro di carbonio attivo vergine di massima qualità, progettato specificamente per la rimozione e l'assorbimento degli odori e dei gas tossici prodotti dal tessuto che brucia. Questi gas nocivi possono costituire un pericolo per la salute dei professionisti sanitari soggetti ad esposizione prolungata. Il carbonio attivo utilizzato nel dispositivo di evacuazione dei fumi rimuove preferenzialmente i gas organici tossici (invece del vapore acqueo) e garantisce una rimozione ottimale degli odori.
- Fase 4 - Una schiuma espansa utilizzata per intrappolare le particelle di carbonio evitando che migrino allontanandosi dal filtro. Questo livello costituisce una protezione aggiuntiva per l'addetto che cambia il filtro.

Il filtro del dispositivo di evacuazione dei fumi ha una durata di circa venticinque ore di effettivo utilizzo e non va utilizzato oltre l'ora specificata, dopodiché va sostituito prima del successivo utilizzo.

Le caratteristiche del dispositivo di evacuazione dei fumi RapidVac sono:

- monitoraggio per tutta la durata del filtro per il suo filtro a quattro fasi;
- funzionamento silenzioso;
- flusso regolabile con tre livelli di potenza: “slow”, “medium” e “fast”;

- compatibilità con quasi tutti i manipoli e generatori elettrochirurgici;
- design compatto e leggero, per un peso di soli 4,5 kg.

Il dispositivo di evacuazione dei fumi RapidVac incorpora la modalità RapidVac+, che controlla il flusso del dispositivo di evacuazione dei fumi quando si utilizza un manipolo elettrochirurgico. Quando il manipolo elettrochirurgico è attivato, il dispositivo di evacuazione dei fumi funziona nell'impostazione di flusso preselezionata. Quando il manipolo è disattivato, il flusso dell'aria si riduce ad un'impostazione di scarico a basso flusso. Sono disponibili altre tre modalità operative: la modalità di attesa, la modalità "Interruttore a Pedale" che attiva o disattiva l'evacuatore con l'interruttore a pedale opzionale, e la modalità "Continua", utilizzata per attivare il dispositivo di evacuazione dei fumi utilizzando il flusso continuo di aria.

Il dispositivo agisce in un intervallo di temperatura dai dieci ai quaranta gradi centigradi, e di umidità relativa tra il trenta e il settantacinque per cento, senza condensa.



Fig. 4.1: sistema di aspirazione Medtronic RapidVac, tratto da <https://www.medtronic.com/covidien/it-it/products/smoke-evacuation/rapidvac-smoke-evacuator-system.html>

In dotazione sono presenti accessori quali manipoli, adattatori, una trappola per fluidi, altri prefiltri, tubi e carrelli.

Oltre a questo aspiratore "fisso" la stessa azienda mette in commercio anche altri aspiratori, tra i quali mi è stato presentato il seguente filtro monouso.



Fig. 4.2: filtro attivo laparoscopico messo in commercio dall'azienda Medtronic

Si tratta di un filtro ULPA attivo per uso laparoscopico con due tubazioni che lo collegano a muro e al trocar. Ha una durata stimata di sei ore, un prezzo contenuto ed è dotato di una rotellina che se girata in senso orario attiva un'aspirazione normale, se girata in verso opposto dà una aspirazione forzata che aumenta il flusso nel caso in cui sia necessario evacuare tanto fumo. Un'altra importante caratteristica di questo dispositivo è il fatto che esso non vincola nei punti d'accesso dove il chirurgo inserisce gli strumenti, agevolando quindi l'intervento.

4.2- IL SISTEMA CONMED VISICLEAR ^[13]

L'aspiratore VisiClear è il più sofisticato sistema di aspirazione dei fumi chirurgici prodotto dall'azienda Conmed. Si compone di un filtro multiporta a quattro stadi (analoghi a quelli descritti per l'aspiratore RapidVac) che si connette a muro e al trocar o al manipolo usato nell'intervento. Può essere utilizzato sia in laparoscopia sia negli interventi di chirurgia open e ambulatoriale. Prima dell'intervento si può selezionare una delle tre modalità operative (laparoscopia, open e ambulatoriale appunto) personalizzando automaticamente la durata del filtro in base alla procedura chirurgica.

Questo aspiratore è dotato di un motore ultra silenzioso grazie alla tecnologia Whisper Technology™. Il filtro ha una durata che va dalle trentadue alle trentacinque ore e garantisce un flusso massimo di aspirazione di 840 litri/minuto. La durata del filtro viene monitorata e visualizzata sul display e quando è necessario sostituirlo compare un avviso. Se la durata del filtro si esaurisce durante l'intervento il chirurgo può comunque completare l'intervento, e il filtro deve essere sostituito successivamente quando il dispositivo è spento.

Altre caratteristiche importanti sono la possibilità di regolare la potenza di aspirazione e il design compatto e leggero, per un peso di 8 kg.



Fig. 4.3: sistema di aspirazione Conmed VisiClear, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Smoke-Evacuators-and-Filters>

Il dispositivo è dotato di un sistema di chiusura delle porte a scorrimento SafePort Technology™ che assicura che il personale medico non entri in contatto con una porta contaminata. Un allarme avverte il personale qualora si verifichi una occlusione. Il monitor touch screen a colori è intuitivo e facile da utilizzare, richiede addestramento minimo e può essere utilizzato con i guanti. Il dispositivo può essere azionato utilizzando il pulsante a monitor oppure un pedale che può essere

premuta dal chirurgo o dagli operatori quando si vuole accendere o spegnere l'aspiratore. In chirurgia open posso anche utilizzare il dispositivo di sincronismo Ez Link™, il quale si collega con un attacco a molletta al cavo tra il macchinario e il manipolo per attivare o disattivare in automatico l'aspiratore.

Ulteriori accessori sono un prefiltro che trattiene le componenti solide del fumo, una trappola per liquidi esterna al filtro, degli adattatori e un tubo dotato di una valvola nera che permette di bloccare automaticamente il pneumo per non aspirarlo. Grazie a ciò non è necessario lavorare a minima potenza (di aspirazione) nelle operazioni di laparoscopia quando la pressione dell'addome è maggiore. I tubi e i cavi per i manipoli hanno lunghezza standard di tre metri, tuttavia sono disponibili anche tubi e cavi più lunghi a seconda delle esigenze. Ad esempio negli interventi di neurochirurgia risulta più comodo avere tubi e cavi lunghi 4,5 metri.

Sono disponibili infine vari manipoli di aspirazione, tra i quali cito:

- PlumePen Pro: utilizzato per interventi ambulatoriali, dotato di un unico tubo con elettrodi attaccati e punte intercambiabili, malleabili e teflonate per ridurre l'escara che si viene a formare durante i tagli;



Fig. 4.4: manipolo di aspirazione PlumePen Pro, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Smoke-Pencils>

- PlumePen Elite: si caratterizza per un design speciale dei pulsanti modellato in un unico pezzo al fine di evitare ingressi di liquidi e per la presenza di una cannula di aspirazione regolabile trasparente, estendibile e retraibile completamente e compatibile con lame intercambiabili di varia lunghezza. Il manipolo permette un libero movimento della mano. Nel caso in cui la cavità sia stretta c'è la possibilità di entrare solo con l'elettrodo;



Fig. 4.5: manipo di aspirazione PlumePen Pro, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Smoke-Pencils>

- PlumePen Ultra: manipo telescopico con cannula estendibile fino a 165 millimetri senza dover cambiare lama. Le punte sono anche in questo caso intercambiabili e allungabili. Lo strumento è dotato anche di un sistema di blocco Cam Lock che previene inoltre il movimento accidentale della cannula, e di un tubo ultraleggero e flessibile che aiuta a ridurre la trazione del polso e l'affaticamento della mano. Una caratteristica innovativa è la presenza di uno snodo a pallina che permette un movimento in ogni direzione per assicurare la massima comodità e maneggevolezza al chirurgo.

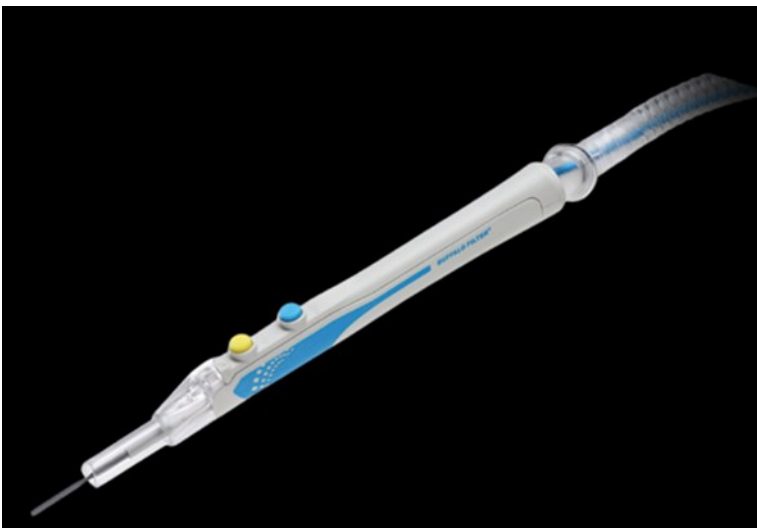


Fig. 4.6: manipo di aspirazione PlumePen Ultra, tratto da <https://www.conmed.com/en-GB/Products/Smoke-Evacuation/Smoke-Pencils>

4.3- IL SISTEMA CONMED PLUMEPOR ACTIV ^[13]

Il dispositivo Plumeport Activ, prodotto e messo in commercio dall'azienda Conmed, è un altro esempio di filtro monouso attivo utilizzato in laparoscopia. È validato per quattro ore di utilizzo. Si compone di un filtro ULPA, una valvola di regolazione del flusso e una trappola per fluidi, e due tubi per collegarsi facilmente ai trocar standard e a muro.

Il filtro ha ottime prestazioni e cattura le particelle del fumo fino a 0,1 con un'efficienza del 99,99%, fornendo un flusso maggiore (fino a 12 litri al minuto) rispetto ai filtri passivi laparoscopici prodotti e messi in commercio dalla stessa azienda.

La trappola per fluidi incorporata garantisce un'adeguata gestione dell'umidità permettendo così di avere un flusso continuo senza inibizioni e di prevenire la saturazione del filtro senza compromettere l'integrità del filtro.

Altre ottime caratteristiche di questo aspiratore laparoscopico sono l'ottima silenziosità al fine di non disturbare gli operatori e il design compatto, leggero e maneggevole.



Fig. 4.7: filtro attivo laparoscopico PlumePort Activ

CAPITOLO 5- CONCLUSIONE

Possiamo dunque concludere che la problematica riguardante i danni/i rischi causati dal fumo derivante dalle operazioni chirurgiche non va sottovalutata e può essere risolta con l'implementazione e l'utilizzo di dispositivi e sistemi di aspirazione come quelli descritti nel precedente capitolo. Nonostante la loro efficacia sia provata ^[14] talvolta questi dispositivi non sono presenti nelle sale operatorie, oppure non vengono utilizzati secondo le procedure indicate. Nel 2019, una revisione della documentazione infermieristica presso un ospedale universitario urbano ha rivelato che il personale stava evacuando correttamente il fumo chirurgico durante meno dello 0,5% delle procedure applicabili ^[15]. A completamento di un corretto smaltimento dei fumi nella sala operatoria spesso si dimentica inoltre di usare un sistema di filtraggio per il vuoto centralizzato della sala, tramite l'utilizzo di filtri in linea. È perciò importante che i sistemi di aspirazione siano utilizzati nella maniera più corretta ed efficace, pertanto è necessaria un'adeguata formazione del personale chirurgico e una puntuale manutenzione degli strumenti da parte dell'ingegneria clinica e delle aziende fornitrici.

5.1- BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] “Webinar on understanding surgical smoke with Dr. Pete Di Pasco| Ethicon”
<https://www.youtube.com/watch?v=44494WMnsY8>;
- [2] W. Pereira Andrade et al. “Low-cost, safe, and effective smoke evacuation device for surgical procedures in the COVID-19 age”, *Journal of Surgical Oncology*
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jso.26133> ;
- [3] M. Dobrogowski et al., “Chemical Composition of surgical smoke formed in the abdominal cavity during laparoscopic cholecystectomy assessment of the risk to the patient”,
International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health 2014,
27(2):314-325;
- [4] National Toxicology Program, Research Triangle Parc, NC, “Report on Carcinognes,
Twelfth Edition, 2011”
- [5] D.S. Hill, J.K. O’Neill, R.J.Powell, D.W. Oliver , “Surgical smoke – A health hazard in the
operating theatre: A study to quantify exposure and a survey of the use of smoke extractor
systems in UK plastic surgery units”, *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic
Surgery*, vol. 65, 2012 911-916;
- [6] Hsin-Shun Tseng, et al., “Cancer risk of incremental exposure to polycyclic aromatic
hydrocarbons in electrocautery smoke for mastectomy personnel”, *World Journal of Surgical
Oncology* 2014, 12:31;
- [7] Y. Tokuda, T. Okamura, M. Orita, M. Noguchi, T. Suzuki, H. Matsuki, “Prospective
randomized study evaluating the usefulness of a surgical smoke evacuation system in
operating rooms for breast surgery”, *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*,
2020
<https://doi.org/10.1186/s12995-020-00259-y> ;
- [8] E.Alp, D.Bijl, R.P. Bleichrodt, B. Hansson, A. Voss, “Surgical Smoke and Infection
Control”, *Journal of Hospital Infection*, vol.62, 2006 1-5;
- [9] M. Rioux, A. Garland, D. Webster, E. Reardon, “HPV positive tonsillar cancer in two laser
surgeons: case reports”, *Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2013 42:54;
- [10] A. Hedley, “Surgical smoke nearly killed me”, *Outpatient Surgery Magazine February 2018
XIX*;
- [11] J. Ahluwalia et al., “Optimizing parameters for Smoke Evacuation”, *Dermatologic Surgery*
November 2021,
[https://journals.lww.com/dermatologicsurgery/Abstract/2021/11000/Optimizing_Parameters
_for_Smoke_Evacuation.7.aspx](https://journals.lww.com/dermatologicsurgery/Abstract/2021/11000/Optimizing_Parameters_for_Smoke_Evacuation.7.aspx) ;
- [12] <https://www.medtronic.com>

- [13] <https://www.conmed.com>
- [14] N. Liu, N. Filipp, K B Wood, “The utility of local smoke evacuation in reducing surgical smoke exposure in spine surgery: a prospective self-controlled study”, *The Spine Journal*, [https://www.thespinejournalonline.com/article/S1529-9430\(19\)30997-0/fulltext](https://www.thespinejournalonline.com/article/S1529-9430(19)30997-0/fulltext) ;
- [15] U. Ostapovych, R. Vortman, “Implementinga Surgical Smoke Evacuation Policy and Procedure: A Quality Improvement Project”, *AORN Journal*, <https://aornjournal.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aorn.13603> ;

RINGRAZIAMENTI

Alla conclusione di questo percorso di studi mi sento di ringraziare alcune persone che, con il loro supporto e la loro vicinanza, mi hanno aiutato a raggiungere questo importante traguardo.

Il primo ringraziamento va alla persona che più di tutti ha fatto dei sacrifici affinché io potessi laurearmi, ovvero mio padre Mirco, che è recentemente mancato e avrebbe tanto voluto esserci in questo giorno speciale.

Ringrazio poi mia madre Marta, mia sorella Lucia, Stefania, i miei parenti ed i miei amici per avermi sostenuto ed essermi stati vicini nei momenti difficili, specialmente negli ultimi tempi. Un ringraziamento particolare va a Carmine per l'enorme aiuto che mi ha dato negli esami di informatica e per il progetto di AI in cui abbiamo collaborato.

Sentiti ringraziamenti vanno a tutto il Servizio Ingegneria Clinica dell'azienda ospedaliera di Padova, in particolare a Nicola, Davide e Mattia per avermi seguito e fatto sentire a mio agio durante il mio tirocinio, e a Marco Benozzi per avermi proposto questa tesi e per tutti i preziosi consigli.

Ringrazio quindi gli specialisti di prodotto Nicoletta Marchi, Bruno Vanin e Thomas Rossato per la disponibilità nell'assistermi con la tesi, ed infine il mio relatore Giovanni Sparacino.