

**ALMA MATER STUDIORUM-UNIVERSITA' DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA**

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

TITOLO DELL'ELABORATO

**Analisi comparativa delle prestazioni di aspiratori chirurgici
portatili**

Elaborato in

Laboratorio di Bioingegneria

Relatore

Prof. Ing. Stefano Severi

Presentata da

Giuseppe Menfi

Correlatori

Ing. Andrea Visotti

Prof. Ing. Maurizio Lannocca

Sessione Terza

Anno Accademico 2012/2013

Introduzione	1
---------------------------	---

Cap. 1: Principi di funzionamento

• Componentistica di un aspiratore chirurgico.....	3
• Pompe a vuoto.....	9
• Funzionamento di un aspiratore chirurgico.....	13

Cap. 2: Introduzione allo studio

• Obiettivi.....	14
• Progettazione di un protocollo.....	15
• Disegno dello studio.....	20

Cap. 3: Implementazione del protocollo

• Valutazione della risposta.....	27
• Analisi statistica.....	68
• Conclusioni	72
• Appendice.....	76

INTRODUZIONE

Con il termine aspiratore chirurgico si fa riferimento ad una particolare classe di dispositivi elettronici utilizzati in ambito medico per l'aspirazione di liquidi corporei che potrebbero ostruire orifizi del paziente o impedire, durante un intervento di osservare una zona di interesse. E' chiaro che, nella chirurgia moderna, questo tipo di strumento ricopre un ruolo potenzialmente fondamentale, dalla cui presenza e funzionalità potrebbe dipendere la vita del paziente. Per questo motivo gli aspiratori chirurgici sono sottoposti a normative, molto restrittive, che regolano le loro funzionalità.

La normativa che regola i criteri di costruzione degli aspiratori chirurgici è la UNI EN ISO 10079-1, stilata dalla Comunità Europea nel 2009, in cui sono specificati i requisiti minimi di sicurezza e di prestazione per gli aspiratori per uso medico e sia in ambito professionale ed home care. Oltre a tale normativa gli aspiratori chirurgici sono soggetti a norme internazionali di carattere generale sulla sicurezza basilare e sulle performance minime garantite da un sistema elettronico medicale, EN60601-1, EN60601-1-11 e EN60601-1-2.

Gli aspiratori chirurgici portatili, detti anche "da campo", perché oltre a funzionare con la normale alimentazione, sono muniti di una batteria, che ne consente il trasporto, devono rispettare, oltre la parte della normativa 10079-1 comune a tutti gli aspiratori, anche ulteriori specifiche.

Le principali specifiche che un aspiratore portatile deve rispettare sono:

- **Componenti e montaggio generale:** gli aspiratori portatili, o “da campo”, devono avere dimensioni tali da consentire il passaggio dell'apparecchiatura, compresa, se prevista, la cassa o l'intelaiatura per il trasporto, completa del contenuto attraverso un'apertura rettangolare le cui dimensioni siano pari a 600mm x 300mm; inoltre la massa completa con tutta la dotazione di serie non deve superare i 6 Kg.
- **Aspiratori trasportabili alimentati a batteria (alto flusso/alto vuoto):** questi devono funzionare per almeno 20 minuti e durante questo periodo il flusso deve mantenersi non inferiore al flusso minimo di 20 L/min.

Ovviamente queste sono una piccola parte delle restrizioni a cui sono sottoposti tali dispositivi, ma sono anche le specifiche primarie per quanto riguarda il funzionamento e le caratteristiche strutturali per un aspiratore. Ed è proprio da questo aspetto che parte questo progetto, in collaborazione con la ditta CA-MI srl. Con questo progetto infatti ci proponiamo di confrontare le prestazioni di tre differenti aspiratori chirurgici e testare se tali dispositivi, attualmente in commercio, hanno delle prestazioni che si differenziano in maniera significativa dai dati forniti dai loro data sheet.

CAPITOLO 1: PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

1.1) Componentistica di un aspiratore da campo a 12 V

Gli aspiratore da campo sono di norma molto semplici dal punto di vista componentistico, tuttavia devono rispettare norme molto severe per poter essere certificati e messi in commercio. Un aspiratore generico è costituito da:

- Motore per creare il vuoto;
- Vaso porta liquidi;
- Filtro anti-batterico e idrofobico;
- Batteria di alimentazione per il motore e la scheda elettronica;
- Manopola per la regolazione del flusso;
- Scheda elettronica che controlla lo stato della batteria e della sua ricarica;
- Vuotometro che misura la depressione all'interno del vaso;
- Valvola di sicurezza all'interno del vaso per impedire al materiale biologico di entrare in contatto col motore;
- Segnalatori luminosi per lo stato di carica della batteria (led);
- Tubi in silicone per il collegamento tra le varie parti del sistema;
- Pulsante per l'accensione e lo spegnimento dell'aspiratore.



Figura1: Componentistica esterna di un aspiratore chirurgico portatile, Askir 36 BR

Motore:

Come vedremo gli aspiratori chirurgici possono essere comparati, grazie al loro principio di funzionamento, alle pompe a vuoto. Le principali tipologie di motori che vengono utilizzati per la realizzazione di un aspiratore chirurgico portatile sono a pistone o a membrana.

I motori (pompe) a pistone sfruttano la variazione di volume in una camera per provocare un'aspirazione o una spinta su un fluido. La variazione di volume è ottenuta con lo scorrimento alternato di un pistone in un cilindro, e opportune valvole che forzano il fluido a scorrere in una sola direzione e ne impediscono il reflusso durante la corsa di ritorno del pistone. L'azione della pompa premente non ha alcuna limitazione teorica. I limiti sono dovuti ai problemi di contenimento della pressione elevata da parte della camera della pompa, delle guarnizioni e delle valvole.

Le pompe a membrana hanno un funzionamento analogo a quello delle pompe a pistone, con la differenza che la variazione di volume, che provoca il flusso di aspirazione, è data dall'oscillazione di una membrana che chiude un lato di una camera.

Il vantaggio di questa soluzione è l'assoluta impermeabilità ottenuta con l'eliminazione dello scorrimento tra parti. Il movimento può essere impresso alla membrana per via meccanica, per esempio attraverso un sistema a leva e manovella, oppure pneumaticamente introducendo e rilasciando aria compressa in una camera opposta a quella di pompaggio.

La pressione massima è limitata dalla resistenza del materiale che costituisce la membrana. Possiamo schematizzare le differenze tra i due tipi di motore in questo modo:

	VANTAGGI	SVANTAGGI
Motore a membrana	<ul style="list-style-type: none"> • Performance superiori; • Stesse prestazioni in aspirazione e compressione; • Resistenza chimica**; • Resistenza meccanica*; 	<ul style="list-style-type: none"> • Costi elevati; • Pressione massima limitata dalla resistenza del materiale della membrana;
Motore a pistone	<ul style="list-style-type: none"> • Basso costo; • Buone prestazioni; • Pressione massima teoricamente senza limitazioni; 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevate pressioni da dover contenere; • Diverse prestazioni in aspirazione e compressione;

* La pompa a membrana è uno strumento molto resistente in cui la necessità di manutenzione ordinaria è ridotta ad un intervento ogni circa 2 anni.

** Questo genere di pompe trovano un largo utilizzo soprattutto in ambienti come laboratori per la loro resistenza chimica, il vuoto privo di residui d'olio, e la disponibilità di soluzioni per il recupero dei solventi.

Filtro Anti-batterico idrofobico:

Il filtro anti-batterico è un accessorio degli aspiratori chirurgici il cui ruolo principale è il blocco di elementi solidi potenzialmente patogeni. Di norma consiste in un disco con un diametro di 6/6,5 cm, con annesse due bocchette con il quale può incastrarsi nei tubi di silicone, e raggiunge un'altezza di 5/5,5 cm. L'involucro esterno è realizzato con materiale plastico mentre all'interno è situato un disco di PTFE (teflon) idrofobico.

Di norma questi filtri sono caratterizzati da un'elevata efficienza, una buona resistenza termica (riescono a sopportare temperature fino a 60°C) e una capacità di filtraggio di elementi fino a 10⁻⁸ metri.



Figura 2: Filtro anti-batterico idrofobico.

Batteria:

La maggior parte degli aspiratori chirurgici portatili che si trovano in commercio sono dotati di batterie realizzate a piombo oppure a litio.

La batteria a piombo (detta anche accumulatore al piombo-acido) è il tipo più vecchio di batteria ricaricabile, molto usata soprattutto per automobili, moto e altri veicoli a motore.

È formata da sei celle in serie, in grado di fornire una differenza di potenziale, in piena carica, di 12,73 V a circuito aperto (2,13 V per la singola cella) e di 12 V quando è in funzione (2 V per la singola cella). Le sue caratteristiche migliori sono la sua capacità di fornire un'elevata potenza istantanea e il suo costo basso. Quando la batteria è nella fase di scarica, si deposita solfato di piombo sulle piastre in forma cristallina, proseguendo ulteriormente nel processo, aumenterà la quantità di solfato fino a diventare uno strato biancastro di 'solfato bianco di piombo. Scaricandola completamente, si interrompe l'attività elettrochimica della batteria stessa, che può essere ricaricata solo ad un livello molto inferiore alla sua capacità nominale. Se lasciata in queste condizioni molto tempo, il solfato che si formerà impedirà la ricarica della batteria stessa rendendola completamente inutilizzabile. Inoltre anche scariche parziali, ma prolungate e ripetute nel tempo, senza una successiva fase di ricarica, danno origine allo stesso fenomeno, anche se più lentamente e con esiti meno evidenti. La batteria al litio (nota anche come accumulatore agli ioni di litio) è un tipo di batteria comunemente impiegato nell'elettronica di consumo. È attualmente uno dei tipi più diffusi di batteria per laptop e telefono cellulare. Tra le sue caratteristiche più importanti abbiamo uno dei migliori rapporti peso/potenza, nessun effetto memoria ed una lenta perdita della carica quando non è in uso. Tali batterie possono essere pericolose se impiegate impropriamente e se vengono danneggiate, e comunque, a meno che non vengano trattate con cura, si assume che possano avere una vita utile più corta rispetto ad altri tipi di batteria.

Le batterie agli ioni di litio possono essere costruite in una vasta gamma di forme e dimensioni, in modo da riempire efficientemente gli spazi disponibili nei dispositivi che le utilizzano.

Il principale svantaggio della batteria a litio è che questa tipologia di batteria soffre di una lenta perdita permanente di capacità ovvero presenta un degrado progressivo anche se non viene utilizzata. Una pila al Litio singola non va mai scaricata sotto una certa tensione, per evitare danni irreversibili. Di conseguenza tutti i sistemi che utilizzano batterie al Litio, come avviene anche per le batterie al Piombo, sono equipaggiati con un circuito che spegne il sistema quando la batteria viene scaricata sotto la soglia predefinita. Di solito sono anche più costose:

	VANTAGGI	SVANTAGGI
Batteria al Piombo	<ul style="list-style-type: none"> • Elevata potenza istantanea; • Basso costo; • Buone prestazioni; • Vita più lunga; 	<ul style="list-style-type: none"> • Veloce scarica quando non è in uso; • Inutilizzabile se lasciata scarica per troppo tempo; • Inadatta a seguire cicli di scariche parziali continui;
Batteria al Litio	<ul style="list-style-type: none"> • Ottimo rapporto peso/potenza; • Ottime prestazioni; • Nessun effetto di memoria; • Lenta scarica quando non è in uso; 	<ul style="list-style-type: none"> • Costi elevati; • Potenzialmente pericolose; • Perdita permanente di capacità; • Vita più breve;

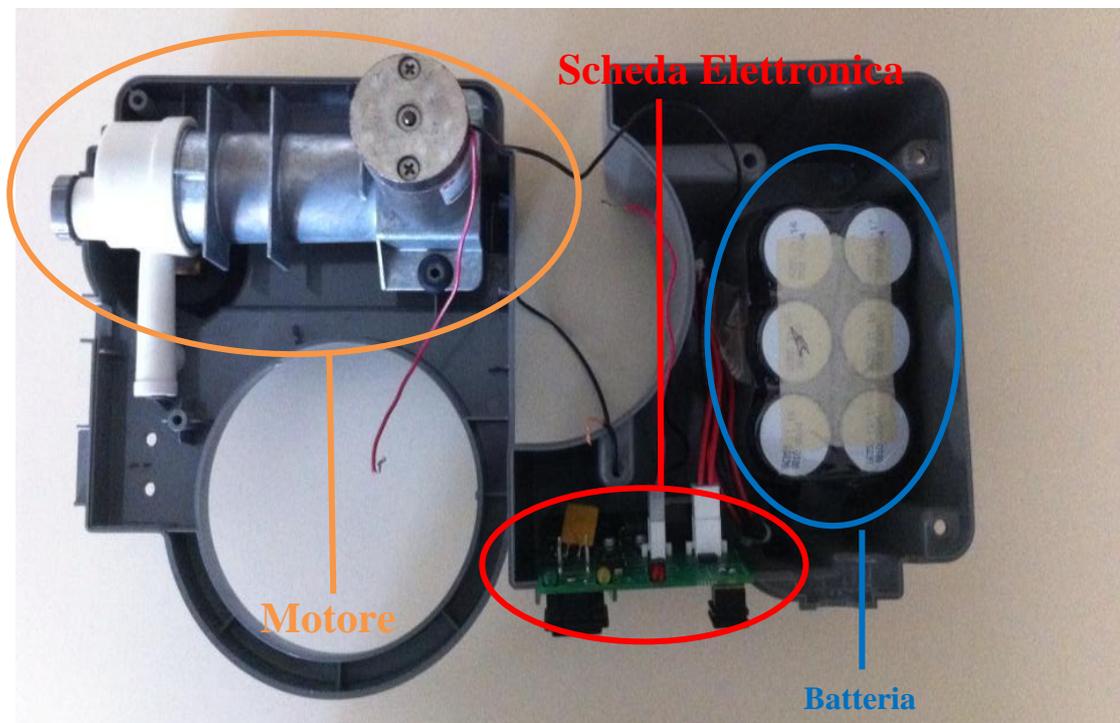


Figura 3: Componentistica interna di un aspiratore chirurgico portatile, VacuAide 7305.

1.2) Pompe a vuoto

Una pompa a vuoto è un dispositivo meccanico utilizzato per creare e mantenere il vuoto (cioè una condizione di pressione minore della pressione atmosferica); per adempiere tale scopo, la pompa da vuoto asporta il gas contenuto in una camera da vuoto alla quale è collegata la pompa attraverso delle condutture. In buona sostanza, quando parliamo di aspirazione di una sostanza gassosa, una pompa a vuoto è un compressore, in quanto porta un fluido in fase gassosa da una pressione più bassa ad una più alta.

La differenza, nell'accezione comune, sta nel fatto che un compressore lavora a pressione di aspirazione costante, mentre la pompa a vuoto lavora a pressione di aspirazione variabile (decescente) e a pressione di mandata costante.

Ogni pompa a vuoto opera in un limitato range di pressione che, di solito, è limitato dalla pressione del vapore del materiale di costruzione e dal passaggio di fluidi nella pompa. Per un ampio valore di pressioni la velocità di pompaggio di una pompa è costante, ma al diminuire delle pressione nella camera da vuoto, si ha che il suo contenuto di materia diminuisce e contemporaneamente la sublimazione dei materiali, il degassamento delle pareti e gli eventuali buchi, fanno sì che la portata diminuisce molto rapidamente. Poiché la pressione tenderà a diminuire progressivamente nel tempo, in quanto si ridurrà il flusso dei gas provenienti dal degasaggio delle pareti del recipiente a vuoto, si assume come valore della pressione limite quello misurato quando ogni ulteriore riduzione di pressione nel tempo risulta trascurabile.

Esistono diversi tipi di pompe di vuoto che coprono differenti intervalli di pressione. Ogni tipo di pompa è caratterizzato dal valore della portata volumetrica Q (detta anche velocità di pompaggio) e mediante il valore della minima pressione raggiunta (pressione limite). Le pompe a vuoto sono classificate a seconda dei fenomeni fisici o chimici responsabili della fuoriuscita di molecole di gas da un vaso depressurizzato:

- a) Pompe a getto di liquido o gas, nelle quali si sfrutta la trasformazione della "energia di velocità" di un fluido in "energia di pressione";
- b) Pompe meccaniche, che realizzano l'aspirazione e lo scarico del gas mediante parti meccaniche in movimento;
- c) Pompe a vapore, basate sul trasferimento di quantità di moto tra le molecole di una corrente di vapore e le molecole di un altro aeriforme;
- d) Pompe ad assorbimento, criopompe, ioniche, getter, a sublimazione nelle quali il gas da evacuare viene fissato senza essere espulso dalla camera: in pratica non hanno uscita di scarico.

E' evidente che, sotto molti aspetti, il nostro aspiratore chirurgico può, a buon ragione, essere di fatto considerato come un particolare tipo di pompa a vuoto.

Tra i vari tipi di pompe a vuoto, quelli che come funzionamento sono meglio associabili agli aspiratori chirurgici sono le pompe meccaniche e le pompe a membrana.

Pompe meccaniche:

Tra i vari tipi di pompe meccaniche che producono il vuoto primario (basso e medio vuoto) le due tipologie principali sono le pompe rotative a palette e le pompe a pistone rotante.

Il corpo centrale di una pompa rotativa a palette è costituito da una cavità cilindrica entro la quale ruota, attorno ad un asse traslato rispetto all'asse della cavità (eccentrico) , un rotore che ha una scanalatura lungo una direzione diametrale. In essa vi sono alloggiato due palette che aderiscono alla parete della cavità cilindrica in virtù dell'azione della molla compressa tra le due palette. L'azione della pompa può essere divisa in tre fasi:

- 1) Il gas dell'impianto da vuotare è aspirato nella zona punteggiata.
- 2) Il gas è quindi trascinato in rotazione e compresso.
- 3) Esso è quindi espulso attraverso la valvola.

Un altro tipo di pompa a vuoto meccanica è denominata a pistone rotante, e si differenzia dalle pompe ad alette perché capace da una maggiore velocità di pompaggio; in essa l'albero di rotazione del rotore è coassiale rispetto alla cavità cilindrica mentre il corpo del rotore (camma) è eccentrico rispetto all'albero.

L'azione di questa pompa può essere divisa in tre fasi:

- (1) Un pistone cavo trascinato dalla camma eccentrica pone in comunicazione il recipiente da evacuare con la cavità cilindrica.
- (2) La camma nella sua rotazione fa sì che il pistone scorra con moto alternativo nella guida (oscillante nella sua sede) e metta alternativamente la camera di compressione in comunicazione con il recipiente da evacuare oppure la isoli.
- (3) Il rotore durante il suo moto comprime i gas fino ad espellerli nell'atmosfera attraverso la valvola di scarico.

Pompe a diaframma (membrana):

Le pompe a diaframma (o membrana) sono molto solide ed economiche. Si basano sul moto alternativo di un pistone con membrana, che aspira, comprime ed espelle il gas. È quindi un tipo di pompa alternativa aspirante e premente e perciò può essere utilizzata anche per il trasferimento o per l'erogazione dei gas.

Nella testata con il condotto d'entrata controllato dalla valvola d'aspirazione e quello d'uscita controllato dalla valvola di mandata, è situata la zona pneumatica, su cui agisce un diaframma costituito da una membrana flessibile di PTFE (Teflon) o di elastomero sintetico (Neoprene, Viton), avvitata sulla testa di una biella azionata dall'albero a gomito guidato dal motore.

La membrana isola ermeticamente il comparto del vuoto dai meccanismi della pompa, assicurando un ambiente completamente esente da olio, ed è un componente molto importante per le prestazioni della pompa.

I motori di diverso tipo sono in presa diretta con la pompa a comando elettronico; i parametri possono essere selezionati da tastiera con memoria per il loro recupero all'avviamento. Possono disporre di dispositivi di sicurezza e di controllo.

Le pompe a membrana sono prodotte in varie dimensioni (da banco e portatili) a singola o a doppia testata, con campi di portate da qualche litro a un centinaio di litri/min. Il moto alternativo del pistone può essere orizzontale o verticale. Si generano bassi e medi vuoti (in media 5-8 Torr), ma qualche modello speciale può arrivare a 0,1 Torr. Non usando olio, sono valide come preparatorie per HV e UHV, quando è necessaria grande pulizia e bastano prevuoti moderati.

1.3) Principi di funzionamento

Un aspiratore chirurgico sfrutta il gradiente di pressione che si crea tra interno ed esterno del vaso per far entrare all'interno dello stesso i liquidi aspirati. La depressione all'interno del vaso di raccolta è creata da una coppia di valvole montate sulla testa del pistone. Queste valvole svolgono due azioni differenti in momenti differenti chiamati fase positiva e negativa del pistone.

La fase positiva si ha quando il pistone, spinto dal motore elettrico, sale verso la testa del cilindro provocando una compressione dell'aria che si trova all'interno del cilindro. Quest'aria viene espulsa tramite un condotto, chiuso da una valvola, che collega il cilindro con l'ambiente esterno. La fase negativa si ha quando il pistone, dopo aver finito la sua corsa, torna e ripercorre al contrario la camera del cilindro. In questa fase il pistone tornando indietro chiude la valvola del condotto di comunicazione con l'esterno ed apre la valvola che mette in comunicazione il vaso e la camera del cilindro, permettendo al pistone di togliere l'aria dal vaso. L'aria che ora è contenuta all'interno del cilindro uscirà durante la nuova fase positiva del pistone; sarà pertanto l'alternanza in rapida successione delle fasi positiva/negativa a creare la depressione e l'aspirazione che servono all'aspiratore chirurgico per avere un corretto funzionamento.

CAPITOLO 2: INTRODUZIONE ALLO STUDIO

2.1) Obiettivi

L'obiettivo del progetto è il confronto delle prestazioni di tre differenti aspiratori chirurgici portatili, forniti dalla ditta CA-MI srl. Prima di testare i dispositivi è stato deciso di creare un protocollo da applicare per poter eseguire nel modo più coerente possibile l'acquisizione dei dati dagli aspiratori. Il protocollo è stato strutturato su quelli che, a buon ragione, possono essere considerate le caratteristiche primarie che differenziano le prestazioni di un tale dispositivo. Si sono testati tre dispositivi a batteria, provenienti da tre case costruttrici differenti:

- ASKIR 36 BR (CA-MI srl): è un aspiratore portatile caratterizzato da un motore a membrana, una batteria da 12 V al Piombo, un vaso porta liquidi della capacità di 1,2 litri e dotato di un solo led per la segnalazione dello stato di carica della batteria;
- OB1000 (Boscarol): è un aspiratore portatile caratterizzato da un motore a pistone (testa di 2,61 cm), una batteria da 12 V al Piombo, un vaso porta liquidi della capacità di 0,8 litri e dotato di quattro led per la segnalazione dello stato di carica della batteria e della carica residua;
- VacuAide 7350P (Devilbiss): è un aspiratore portatile caratterizzato da un motore a pistone (testa di 4,0 cm), una batteria composta da 6 batterie da 2 V al Piombo, un vaso porta liquidi della capacità di 1 litro e dotato di tre led per la segnalazione dello stato di carica della batteria;

2.2) Progettazione di un protocollo

Per ottenere uno studio quanto più generale e imparziale possibile, risultava fondamentale individuare una lista di caratteristiche, tali da poter identificare al meglio i vari aspetti del funzionamento dei vari aspiratori. Dopo aver individuato tali caratteristiche è stato necessario ideare delle prove adatte per metterle in risalto.

Le prove sono state effettuate nel laboratorio della facoltà, potendo quindi usufruire della strumentazione già presente.

Nel disegno di queste prove è stato di grande importanza tener conto anche della possibilità di replicare tali prove in modo da ottenere dei dati consistenti per una possibile indagine statistica. Tra le caratteristiche che possono maggiormente influenzare il funzionamento di tali dispositivi, troviamo :

- 1) Flusso di aspirazione;
- 2) Capacità di aspirazione con diversi liquidi;
- 3) Durata della batteria;
- 4) Potenza assorbita dal motore;
- 5) Peso;
- 6) Durata della batteria in uso continuo;
- 7) Temperatura raggiunta nel punto più caldo all'interno del dispositivo.

2.2.1) Flusso di aspirazione:

Quando si parla di flusso di aspirazione si intende la quantità di liquido/gas che un'apparecchiatura aspira in un determinato intervallo di tempo (tipicamente Litri/minuti). Il flusso di un aspiratore portatile, dove con il termine "portatile" si definiscono quegli aspiratori che possono funzionare a batteria oltre che con alimentazione a 220 V, quindi trasportabili, deve rispettare la normativa UNI EN ISO 10079-1, la quale impone che il flusso minimo garantito è di 20 L/min. Diventa pertanto di fondamentale importanza testare i vari dispositivi per constatare che questa caratteristica sia soddisfatta ed eventualmente monitorare per quanto tempo l' aspiratore riesce a mantenere quel flusso.

Per poter misurare il flusso di aspirazione faremo uso di un Flussimetro D6F-50A5-000 a MEMS della Omron, il quale riesce a misurare un flusso d'aria che lo attraversa da valori di 0 a 50 L/min.

Struttura e principio di funzionamento del flussimetro:

Il sensore di flusso è composto da due termopile, una in un lato e l'altra nel lato opposto, e di un elemento che si riscalda usato per misurare le deviazioni nella simmetria di calore che sono causate dal flusso del gas che lo attraversa in un senso o nell'altro.

Quando non è presente un flusso, la distribuzione di temperatura è concentrata intorno al riscaldatore e quindi la tensione differenziale tra le due termopile è 0 V. Quando il più piccolo flusso è presente, la temperatura dal lato del riscaldatore che affronta il flusso si raffredda e riscalda l'altro lato del riscaldatore.

La differenza della temperatura compare come tensione differenziale fra le due termopile e quindi genera l'uscita in volt.



Figura 4: Flussimetro a MEMS D6F-50A5-000, Omron

2.2.2) Capacità d'aspirazione con sostanze liquide:

Per provare che l'aspiratore chirurgico è effettivamente funzionante risulta di fondamentale importanza fare una test di utilizzo con alcuni liquidi come sangue o acqua, e vedere come si differenzia il comportamento dell'aspiratore rispetto a quando è testato "a vuoto".

2.2.3) Tempi di ricarica totale:

Un altro fattore importante per un aspiratore chirurgico è il tempo necessario a ricaricarsi. Per quanto riguarda questo aspetto si può monitorare sia il tempo impiegato dalla batteria per ricaricarsi alla carica massima, sia il tempo che impiega il dispositivo a raggiungere la carica necessaria per generare un valore del flusso minimo di 20 L/min.

2.2.4) Peso e dimensione dei dispositivi:

Il peso dell'aspiratore è un'altra caratteristica che è sottoposta a restrizione dalla normativa UNI EN ISO 10079-1, la quale stabilisce che il massimo peso che un aspiratore "da campo" può avere sia di 6 Kg. Le dimensioni di questi dispositivi, invece, devono essere tali da consentire il passaggio dell'apparecchiatura, compresa, se prevista, la cassa o l'intelaiatura per il trasporto, completa del contenuto, attraverso un'apertura rettangolare le cui dimensioni siano pari a 600mm x 300mm.

2.2.5) Potenza assorbita dal motore:

Una caratteristica di rilievo è la potenza assorbita dal motore dei dispositivi durante il funzionamento in continuo. Una volta misurata, dal valore della potenza potremo ricavare anche il valore del lavoro assorbito dal motore durante un ciclo completo di scarica.

2.2.6) Durata della batteria in uso continuo:

Per questa caratteristica non sono state fatte prove specifiche, in quanto già in altri test, come flusso/ temperatura/ potenza, il dispositivo veniva scaricato completamente partendo da uno stato di piena carica. Dai dati raccolti per queste misure si valuterà la durata di funzionamento degli aspiratori posti ad indagine.

2.2.7) Temperatura raggiunta all'interno del dispositivo:

Una delle caratteristiche principali da dover considerare, soprattutto per evitare una rottura/malfunzionamento futuro del dispositivo, è la massima temperatura raggiunta all'interno dell'aspiratore (normalmente questi dispositivi sono realizzati con una carcassa di plastica, in modo da non avere una superficie ustionante potenzialmente a contatto).

Per poter misurare la temperatura raggiunta all'interno verrà utilizzata una termocoppia collegata ad un tester.

Struttura e principio di funzionamento della termocoppia:

Una termocoppia è un sensore di temperatura che sfrutta un fenomeno chiamato effetto Seebeck, che consiste nella presenza di una differenza di potenziale che si instaura quando, in un circuito costituito da due conduttori di natura diversa, sottoposto ad un gradiente di temperatura.

Una termocoppia è costituita quindi da una coppia di conduttori elettrici congiunti in un medesimo punto (giunto caldo). L'altra estremità, costituita dalle estremità libere dei conduttori è detta giunzione fredda. Quando si instaura una differenza di temperature ΔT tra i giunti si può rilevare tra le estremità libere dei conduttori una differenza di potenziale (in corrispondenza del giunto freddo) che è direttamente riconducibile alla differenza di temperatura misurata. Nel nostro caso il potenziale rilevato veniva trasmesso dalla termocoppia che lo convertiva in una temperatura.



Figura 5: Termocoppia utilizzata per il monitoraggio della temperatura.

2.3) Disegno dello studio

2.3.1) Flusso di aspirazione:

Per la realizzazione di questa prova, abbiamo connesso la sonda di aspirazione direttamente ad uno degli ingressi del flussimetro:



Figura 6: Setup utilizzato per il monitoraggio del flusso di aspirazione.

Il flussimetro veniva alimentato con 12 V e il valore del flusso veniva fornito come tensione differenziale in uscita.

La prova è stata condotta partendo da uno stato di piena carica dell'aspiratore (non alimentato) il quale aspirava aria connesso al flussimetro, ed il valore del flusso veniva rilevato ogni 5 minuti fino alla completa scarica del dispositivo. Ogni prova è stata condotta tre volte per ogni aspiratore.

I valori del flusso sono stati ottenuti poi dal data sheet del flussimetro, nel quale sono presenti i seguenti valori corrispondenti tra flusso e tensione di uscita:

D6F-50A5-000

Flusso(L/min)	0	10	20	30	40	50
Tensione (V)	1.0±0.12	2.45±0.12	3.51±0.12	4.2±0.12	4.66±0.12	5.0±0.12

Tabella 1: relazione tra tensione e flusso.

Per avere maggiore semplicità di interpretazione dei dati forniti dal datasheet, soprattutto in considerazione della sua non linearità, abbiamo utilizzato Matlab:

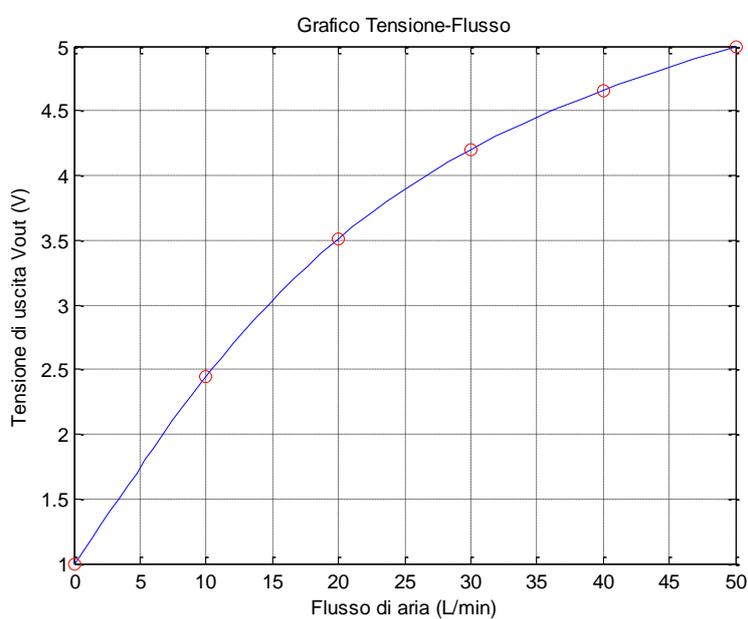


Grafico 1: Rappresentazione della relazione tra flusso e tensione realizzata con Matlab. Essendo il grafico non lineare, una piccola diminuzione di tensione può provocare un notevole abbassamento del flusso, soprattutto per tensioni elevate.

Flusso(L/min) Tensione (V)

0.00	1.0
0.70	1.1
1.39	1.2
2.07	1.3
2.74	1.4
3.41	1.5
4.07	1.6
4.74	1.7
5.40	1.8
6.07	1.9
6.76	2.0
7.45	2.1
8.15	2.2
8.88	2.3
9.62	2.4
10.39	2.5
11.18	2.6
11.99	2.7
12.84	2.8
13.73	2.9
14.65	3.0
15.60	3.1
16.60	3.2
17.65	3.3
18.74	3.4
19.88	3.5
21.08	3.6
22.34	3.7
23.67	3.8
25.10	3.9
26.62	4.0
28.25	4.1
30.00	4.2
31.89	4.3
33.92	4.4
36.12	4.5
38.49	4.6
41.05	4.7
43.81	4.8
46.79	4.9
50.00	5.0

Codice Matlab:

```
x = 0 : 10 : 50 ;  
y = [1 2.45 3.51 4.2 4.66 5] ;  
yp = 1 : 0.1 : 5 ;  
xp = spline(y, x, yp) ;  
t = [xp ; yp] ;  
plot (xp, yp, x, y, 'r o') , grid  
title('Grafico Tensione-Flusso')  
xlabel('Flusso di aria (L/min)')  
ylabel('Tensione di uscita Vout (V)')
```

NOTA:

In realtà abbiamo considerato i valori della tensione fino al Centesimo di Volt, quindi abbiamo realizzato in Matlab, una Tabella Tensione/flusso approssimata al centesimo.

2.3.2) Capacità d'aspirazione con sostanze liquide:

In questo caso, non potendo utilizzare il flussimetro a MEMS della Omron, per poter stimare il flusso, utilizziamo la sonda di aspirazione per svuotare un recipiente contenente una prestabilita quantità di liquido (0,6/0,7 Litri). Cronometrando il tempo di aspirazione, possiamo ottenere una buona stima del flusso di aspirazione con sostanze liquide. Il liquido utilizzato è il sangue artificiale. Le prove effettuate con il sangue consistevano nel cronometrare il tempo impiegato dall'aspiratore a svuotare una prestabilita quantità d'acqua al variare della depressione (le depressioni sono state scelte in modo da avere depressione massima, minima e media). Successivamente le prove sono state condotte a pressione massima, cronometrando il tempo impiegato ad aspirare una certa quantità di sangue artificiale al variare della distanza tra aspiratore e vaso (le distanze utilizzate sono state 0,5m e 1m). Ogni prova è stata ripetuta tre volte per dispositivo.

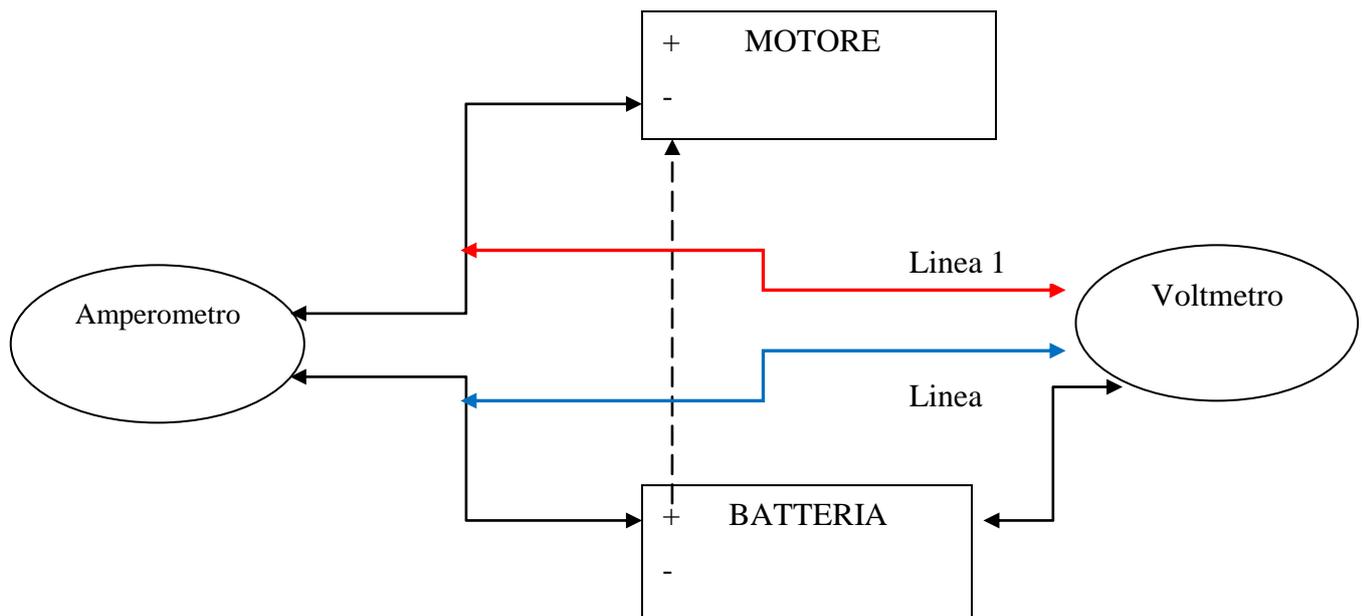
Il sangue artificiale è stato realizzato utilizzando in proporzione:

- 500 mL di soluzione per infusione a gel, Gelofusine (B. BRAUN) ;
- 3 fiale da 600 mg in polvere/10 mL di solvente, antibiotico per uso endovenoso a base di rifampicina, Rifadin (SANOFI AVENTIS);
- 1 fiala da 5 mL/62,5 mg, a base di ferro trivalente, per uso endovenoso/orale, Ferlixit (SANOFI AVENTIS);

2.3.5) Potenza assorbita dal motore:

Per misurare la potenza assorbita dal motore abbiamo dovuto aprire l'involucro dell'aspiratore e agire manualmente con delle modifiche per poter inserire due tester. Il primo tester fungeva come amperometro e veniva messo in serie con il motore mentre il secondo veniva utilizzato come un voltmetro e posto in parallelo con il motore.

La prova è stata condotta partendo da uno stato di piena carica dell'aspiratore (non alimentato) che aspirava aria e il valore della potenza veniva rilevato ogni 5 minuti, come prodotto $I \cdot V$, fino alla completa scarica del dispositivo. Ogni prova è stata condotta tre volte per ogni aspiratore. Possiamo schematizzare tale apparato così:



Schema 1: Rappresentazione schematica del sistema per il monitoraggio della potenza assorbita dal motore, utilizzato per tutti gli aspiratori.

L'amperometro, messo in serie con il motore e impostato per la registrazione della corrente continua, segnalava il valore della corrente che arrivava al motore. La linea tratteggiata indica il normale collegamento tra batteria e motore, che è stato tagliato per poter inserire l'amperometro. Il Voltmetro veniva collegato in parallelo al motore, attraverso un cavo connesso direttamente al polo negativo della batteria, mentre un altro cavo lo legava alla linea 2, ovvero con il cavo che collega batteria ed amperometro. Il motivo di questa scelta risiede nel fatto che l'amperometro aggiunge al sistema una piccola resistenza che causa una piccola caduta di potenziale, normalmente assente. Quindi per eliminare la caduta di potenziale introdotta dalla manomissione dell'apparato batteria-motore, si collegava il voltmetro a monte dell'amperometro.

2.3.7) Temperatura raggiunta all'interno del dispositivo:

Come abbiamo detto in precedenza gli aspiratori chirurgici sono di solito realizzati con una carcassa di materiale plastico ABS-V0, pertanto ciò che più ci interessa sulla temperatura raggiunta all'interno del dispositivo è il valore più alto registrato e dove si sviluppa tale temperatura, per poter prevedere un'eventuale difetto che potrebbe compromettere in futuro l'uso del dispositivo.

La prova è stata condotta partendo da uno stato di piena carica dell'aspiratore (non alimentato) che aspirava aria, e il valore della temperatura veniva rilevato ogni 5 minuti fino alla completa scarica del dispositivo. Ogni prova è stata condotta tre volte per ogni aspiratore.

In primo luogo è stata individuata, in maniera qualitativa, la regione più calda all'interno del dispositivo grazie ad una termo camera. Dopo aver individuato la regione più calda dell'aspiratore, abbiamo fissato la termocoppia nella zona più calda del dispositivo e si è proceduto con la registrazione della temperatura.

Problemi e soluzioni:

Originariamente il protocollo è stato progettato teoricamente, senza testare le effettive performance degli aspiratori. Tuttavia durante l'applicazione del protocollo ci siamo resi conto di alcune problematiche che ci hanno indotto ad eseguire le prove diversamente da come progettato:

- **Prove di aspirazione con l'acqua:** Le prove condotte con l'acqua erano state inizialmente progettate diversamente rispetto a quelle con il sangue. In particolare con l'acqua volevamo monitorare il tempo impiegato dagli aspiratori per raggiungere il vuoto impostato. Occludendo manualmente la sonda di aspirazione, e agendo sulla manopola di regolazione del flusso, andavamo ad impostare una certa depressione. Riempivamo un contenitore d'acqua, la cui quantità era quasi pari alla capacità del vaso, e cronometravamo il tempo impiegato dagli aspiratori per raggiungere il vuoto impostato.

Il risultato però è stato fallimentare per tutti gli aspiratori in quanto in tutti i casi, a prescindere dal vuoto impostato e dal tipo di aspiratore, il dispositivo riusciva ad aspirare una quantità di liquido quasi pari alla capacità del vaso prima di raggiungere il vuoto impostato.

- **Tempi di ricarica :** I tempi di ricarica degli aspiratori sono una caratteristica molto interessante, ma sfortunatamente non è stato possibile avere dei dati precisi e comparabili su questo parametro. Il protocollo era stato strutturato ipotizzando di poter stimare sia il tempo di ricarica totale sia il tempo di ricarica necessario, affinché il dispositivo riuscisse a sviluppare un flusso minimo di 20 L/min.

Per quanto riguarda il tempo di ricarica totale, che viene di solito segnalato dai led presenti sull'aspiratore, non è stato possibile avere delle stime precise ma soltanto una valutazione generale (chi si ricarica prima), in quanto negli accessori base forniti dai due aspiratori OB1000 e VacuAide mancavano i caricabatterie "classici". Infatti vengono forniti solamente dei caricabatterie "car adapter", il che ci ha costretti a utilizzare un generatore di tensione collegato al car adapter per poter ricaricare tali dispositivi. Quindi i dispositivi potevano essere caricati solo in laboratorio (e in orario di laboratorio). Inoltre, un altro problema è stato il tempo di ricarica eccessivamente lungo di suddetti aspiratori, tale che non si riusciva nell'orario di apertura del laboratorio ad arrivare alla carica completa.

Per quanto riguarda i tempi di ricarica necessari al raggiungimento dei 20 L/min i problemi sono sorti in quanto, dopo aver fatto delle prove sul flusso dei dispositivi, si è constatato che almeno due dispositivi (Askir e OB1000) anche a carica completa, difficilmente raggiungevano tale soglia. Pertanto il tempo necessario affinché il dispositivo fosse capace di creare un flusso di 20 L/min coincideva con il tempo di ricarica totale.

CAPITOLO 3: IMPLEMENTAZIONE DEL PROTOCOLLO

3.1) Risposta dei dispositivi al protocollo

1. Flusso di aspirazione:

I risultati ottenuti, applicando il protocollo da noi previsto, per quanto riguarda il flusso di aspirazione, sono i seguenti:

ASKIR: prova n°1		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,50	19,88
5	3,48	19,65
10	3,47	19,53
15	3,46	19,42
20	3,44	19,19
25	3,43	19,08
30	3,42	18,97
35	3,40	18,74
40	3,37	18,41
45	3,34	18,08
50	3,25	17,12
55	1,00	0,00

Tabella 1: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per l'Askir, prova 1.

ASKIR: prova n°2		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,62	21,33
5	3,46	19,42
10	3,45	19,31
15	3,44	19,19
20	3,43	19,08
25	3,42	18,97
30	3,40	18,74
35	3,38	18,52
40	3,31	17,76
45	1,00	0,00

Tabella 2: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per l'Askir, prova 2.

ASKIR: prova n°3		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,48	19,65
5	3,46	19,42
10	3,45	19,31
15	3,44	19,19
20	3,42	18,97
25	3,41	18,85
30	3,39	18,63
35	3,36	18,30
40	3,30	17,65
45	1,00	0,00

Tabella 3: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per l'Askir, prova 3.

ASKIR: media		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,53	20,24
5	3,47	19,53
10	3,46	19,38
15	3,45	19,31
20	3,43	19,08
25	3,42	18,97
30	3,40	18,74
35	3,36	18,30
40	3,33	17,97
45	3,34	18,08
50	3,25	17,12
55	1,00	0,00

Tabella 4: andamento della tensione di uscita media del flussimetro/flusso medio in funzione del tempo per l'Askir. I valori della tabella compresi nelle linee tratteggiate riportano i valori di una singola prova in quanto nelle altre due prove il dispositivo ha avuto una durata di funzionamento inferiore.

NOTA:

I valori del flusso medio non sono stati ricavati mediando i valori del flusso ottenuti nelle tre prove, ma ricavando il valore del flusso dalla media delle tensioni di uscita dal flussimetro ricavate nelle tre prove.

Commenti:

I dati ottenuti mostrano che l'Askir tende a non raggiungere, se non nella parte iniziale, ovvero quando è completamente carico, il limite imposto dalla normativa di 20 L/min. Per poter analizzare meglio le prestazioni del dispositivo grafici chiamo l'andamento del flusso medio in funzione del tempo:

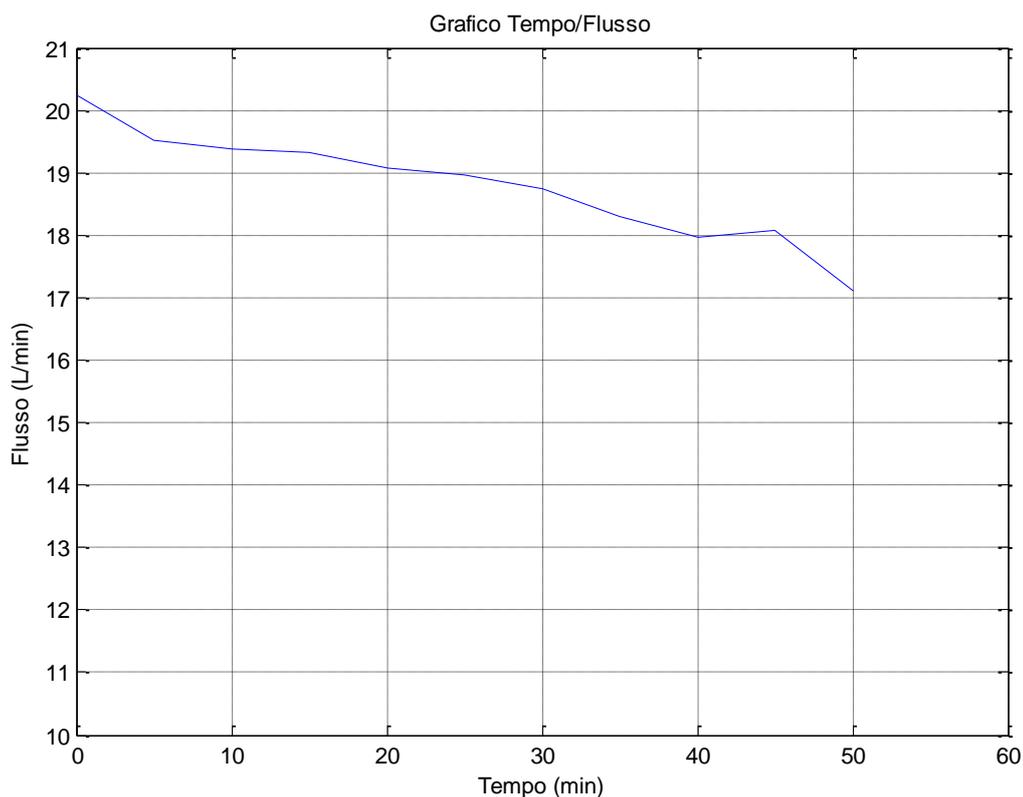


Grafico 2: Rappresentazione grafica della relazione tra flusso medio e tempo per l'Askir, realizzata con Matlab.

Dal grafico possiamo notare che il flusso generato dall'Askir ha un comportamento quasi lineare per una buona frazione del suo tempo di funzionamento (all'incirca fino ai 40 minuti). Quello che più caratterizza il grafico è la sua parte finale delineata da un brusco calo. Il motivo per cui si ha una zona del grafico con una tale pendenza è dovuta alla tipologia di funzionamento del dispositivo, infatti, a differenza del VacuAide e dell'OB1000, questo aspiratore è stato realizzato in modo tale da spegnersi automaticamente quando al motore arriva una tensione minore di una certa tensione limite, il che si verifica quando ancora il dispositivo riesce ad avere un flusso di circa 17 L/min.

VacuAide 7350P: prova n°1		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,65	21,70
5	3,64	21,57
10	3,64	21,57
15	3,63	21,45
20	3,62	21,33
25	3,61	21,20
30	3,60	21,08
35	3,59	20,96
40	3,58	20,84
45	3,58	20,84
50	3,56	20,59
55	3,55	20,47
60	3,52	20,12
65	3,50	19,88
70	3,40	18,74
75	3,19	16,50
80	2,82	13,02
85	2,54	10,70
90	2,27	8,67
95	1,95	6,41
100	1,60	4,08

Tabella 5: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per il VacuAide, prova 1.

NOTA:

I valori del flusso per questo particolare dispositivo sono riportati fino ai 100 minuti, in quanto, almeno in 2 prove su 3, arrivati a tale periodo di tempo, il flusso raggiungeva valori molto bassi (4-6 L/min).

VacuAide 7350P: prova n°2		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,68	22,08
5	3,66	21,82
10	3,65	21,70
15	3,64	21,57
20	3,63	21,45
25	3,62	21,33
30	3,61	21,20
35	3,60	21,08
40	3,59	20,96
45	3,58	20,84
50	3,56	20,59
55	3,54	20,35
60	3,51	20,00
65	3,47	19,53
70	3,37	18,41
75	3,18	16,40
80	2,76	12,50
85	2,40	9,62
90	2,39	9,55
95	1,90	6,07
100	1,88	5,94

Tabella 6: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per il VacuAide, prova 2.

VacuAide 7350P: prova n°3		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,64	21,57
5	3,65	21,70
10	3,64	21,57
15	3,63	21,45
20	3,62	21,33
25	3,61	21,20
30	3,60	21,08
35	3,58	20,84
40	3,52	20,12
45	3,44	19,19
50	3,39	18,63
55	3,33	17,97
60	3,27	17,33
65	3,17	16,30
70	3,02	14,83
75	2,92	13,91
80	2,84	13,19
85	2,77	12,59
90	2,73	12,26
95	2,65	11,58
100	2,60	11,18
105	2,53	10,62
110	2,38	9,47
115	2,23	8,37

Tabella 7: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per il VacuAide, prova 3.

In questa particolare prova abbiamo riportato i valori fino a 115 minuti in quanto l'aspiratore ha generato un flusso, arrivati ai 100 minuti, molto superiore alle altre prove.

Nel conteggio dei valori medi del flusso non verranno conteggiati i dati successivi ai 100 minuti in quanto comunque rappresentano dei valori di flusso molto bassi per un'applicazione pratica, tuttavia è importante mettere in evidenza questo comportamento anomalo in cui il VacuAide è riuscito a mantenere un flusso maggiore di 10 L/min per un periodo più lungo.

VacuAide 7350P: media		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,66	21,83
5	3,65	21,70
10	3,64	21,57
15	3,63	21,45
20	3,62	21,33
25	3,61	21,20
30	3,60	21,08
35	3,59	20,96
40	3,56	20,59
45	3,53	20,24
50	3,50	19,88
55	3,47	19,53
60	3,43	19,08
65	3,38	18,52
70	3,26	17,23
75	3,10	15,60
80	2,81	12,93
85	2,57	10,94
90	2,46	10,08
95	2,17	7,94
100	2,03	6,96

Tabella 8: andamento della tensione di uscita media del flussimetro/flusso medio in funzione del tempo per il VacuAide.

Commenti:

Questo aspiratore mantiene delle buone performance, con un flusso che supera il flusso minimo imposto dalla normativa, per un grande intervallo di tempo (tra i 45 e i 50 minuti). Per poter meglio analizzare le sue prestazioni grafi chiamo l'andamento del flusso in funzione del tempo:

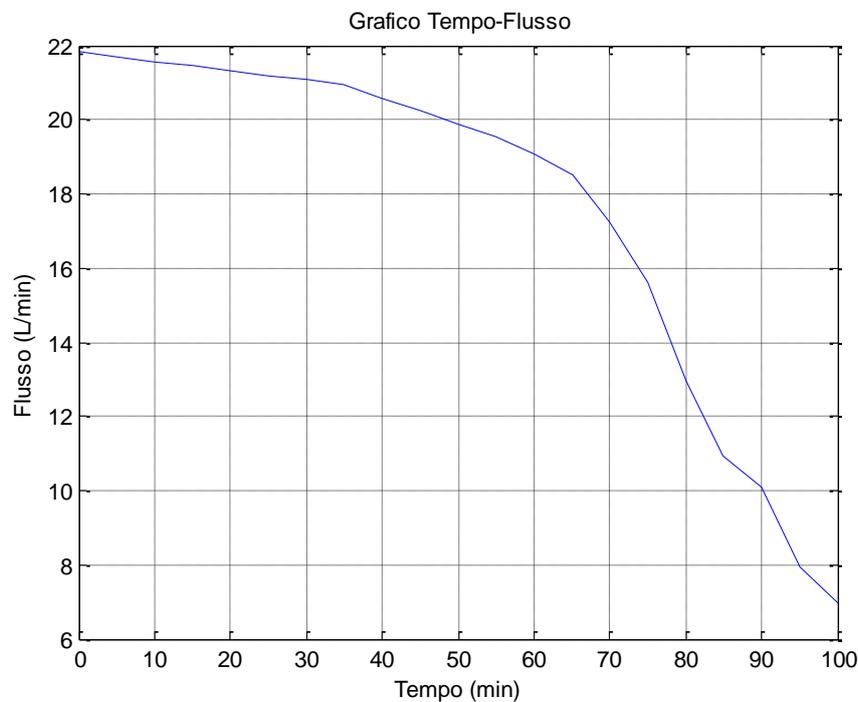


Grafico 3: Rappresentazione grafica della relazione tra flusso medio e tempo per il VacuAide, realizzata con Matlab.

Il grafico può essere idealmente suddiviso in due sezioni:

1. La prima parte del grafico, fino ai 65, mostra un andamento non lineare in cui il flusso subisce un decremento molto piccolo ($3/4$ L/min);
2. La seconda parte del grafico, dai 70 minuti in poi, mostra invece un andamento comunque lineare ma con una pendenza più ripida che comporta un decremento in 30/35 minuti di oltre 10L/min.

Questo dispositivo, a differenza dell'Askir, continua ad aspirare incessantemente fino alla completa scarica della batteria. Questo ne determina una durata molto superiore ma non ne garantisce l'utilizzo per tale durata in quanto, dopo un certo intervallo di tempo, il flusso che il dispositivo è in grado di generare risulta essere eccessivamente basso per un'applicazione pratica.

OB1000: prova n°1		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,36	18,30
5	3,35	18,19
10	3,33	17,97
15	3,32	17,86
20	3,31	17,76
25	3,29	17,54
30	3,28	17,44
35	3,27	17,33
40	3,27	17,33
45	3,26	17,23
50	3,25	17,12
55	3,22	16,81
60	3,20	16,60
65	3,17	16,30
70	2,88	13,55
75	2,65	11,58
80	2,48	10,23
85	2,31	8,95
90	2,19	8,08
95	2,09	7,38
100	1,99	6,69
105	1,93	6,28
110	1,88	5,94

Tabella 9: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per l'OB1000, prova 1.

I valori del flusso di questo dispositivo sono stati riportati fino ai 110 minuti, in quanto si è visto che nelle tre prove, dopo un tale periodo di tempo, il flusso aveva valori molto bassi (4-6 L/min).

OB1000: prova n°2		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,34	18,08
5	3,35	18,19
10	3,35	18,19
15	3,35	18,19
20	3,35	18,19
25	3,34	18,08
30	3,33	17,97
35	3,32	17,86
40	3,32	17,86
45	3,31	17,76
50	3,30	17,65
55	3,29	17,54
60	3,28	17,44
65	3,25	17,12
70	3,24	17,02
75	3,19	16,50
80	2,80	12,84
85	2,48	10,23
90	2,27	8,87
95	2,09	7,38
100	1,99	6,69
105	1,93	6,28
110	1,88	5,94

Tabella 10: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per l'OB1000, prova 2.

OB1000: prova n°3		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,37	18,41
5	3,37	18,41
10	3,37	18,41
15	3,36	18,30
20	3,36	18,30
25	3,35	18,19
30	3,34	18,08
35	3,34	18,08
40	3,33	17,97
45	3,32	17,86
50	3,31	17,76
55	3,31	17,76
60	3,28	17,44
65	3,27	17,33
70	3,25	17,12
75	3,23	16,91
80	3,16	16,20
85	2,80	12,84
90	2,50	10,39
95	2,31	8,95
100	2,12	7,59
105	1,97	6,55
110	1,89	6,01

Tabella 11: andamento della tensione di uscita del flussimetro/flusso in funzione del tempo per l'OB1000, prova 3.

OB1000: media		
Tempo (min)	Tensione Vout (V)	Flusso (L/min)
0	3,36	18,30
5	3,36	18,30
10	3,35	18,19
15	3,34	18,08
20	3,34	18,08
25	3,33	17,97
30	3,32	17,86
35	3,31	17,76
40	3,31	17,77
45	3,30	17,65
50	3,29	17,54
55	3,27	17,33
60	3,25	17,12
65	3,23	16,91
70	3,12	15,80
75	3,02	14,83
80	2,81	12,93
85	2,53	10,62
90	2,32	9,02
95	2,16	7,87
100	2,03	6,96
105	1,94	6,35
110	1,88	5,94

Tabella 12: andamento della tensione di uscita media del flussimetro/flusso medio in funzione del tempo per l'OB1000.

Commenti:

Questo aspiratore mostra delle prestazioni, in termini di flusso, poco soddisfacenti in quanto, anche in piena carica, non soddisfa la normativa sul flusso minimo garantito. Per poter analizzare meglio il flusso ne grafichiamo l'andamento in funzione del tempo:

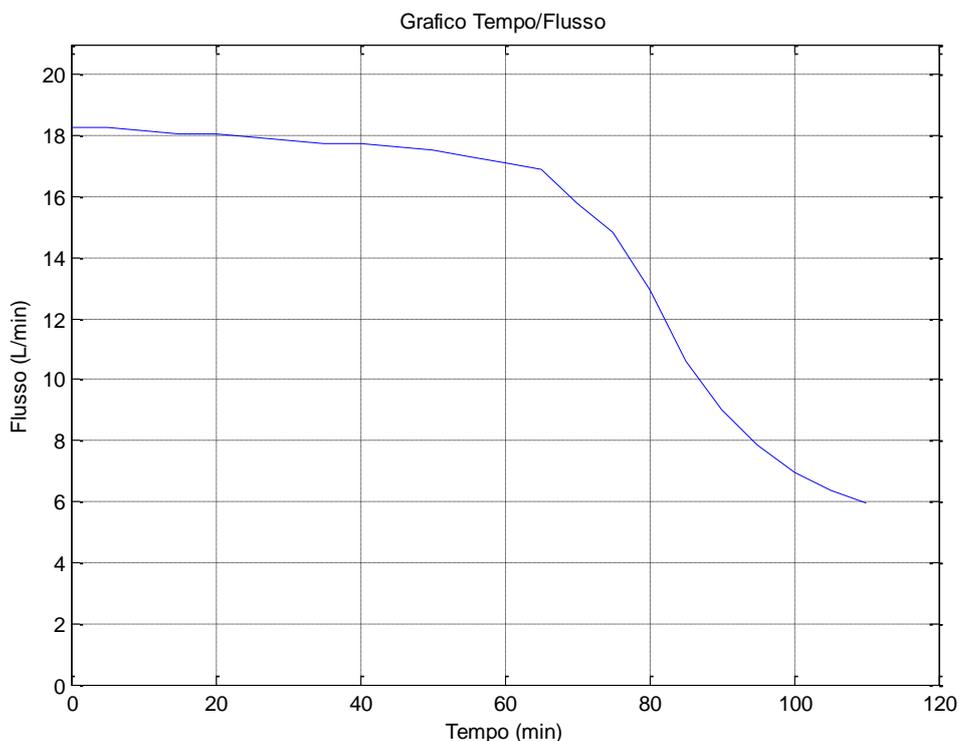


Grafico 4: Rappresentazione grafica della relazione tra flusso medio e tempo per l'OB1000, realizzata con Matlab.

Il grafico può essere idealmente suddiviso in due sezioni:

1. La prima parte, fino a 65/70 min, mostra un andamento lineare in cui il flusso subisce un decremento molto basso, circa 1,5L/min;
2. la seconda parte, da 70 min in poi, mostra invece un andamento non lineare in cui il flusso decresce molto rapidamente, circa 0,3L/min.

Questo aspiratore ha un funzionamento simile a quello del VacuAide, cioè continua ad aspirare incessantemente fino alla completa scarica della batteria. Questo ne determina una lunga durata ma al contempo non ne garantisce l'utilizzo per tale durata in quanto, dopo un certo intervallo di tempo, il flusso che il dispositivo è in grado di generare risulta essere eccessivamente basso per un'applicazione pratica.

RISULTATI A CONFRONTO:

Per il confronto tra i tre dispositivi sul flusso di aspirazione ci basiamo sul grafico del flusso medio in funzione del tempo dei tre aspiratori:

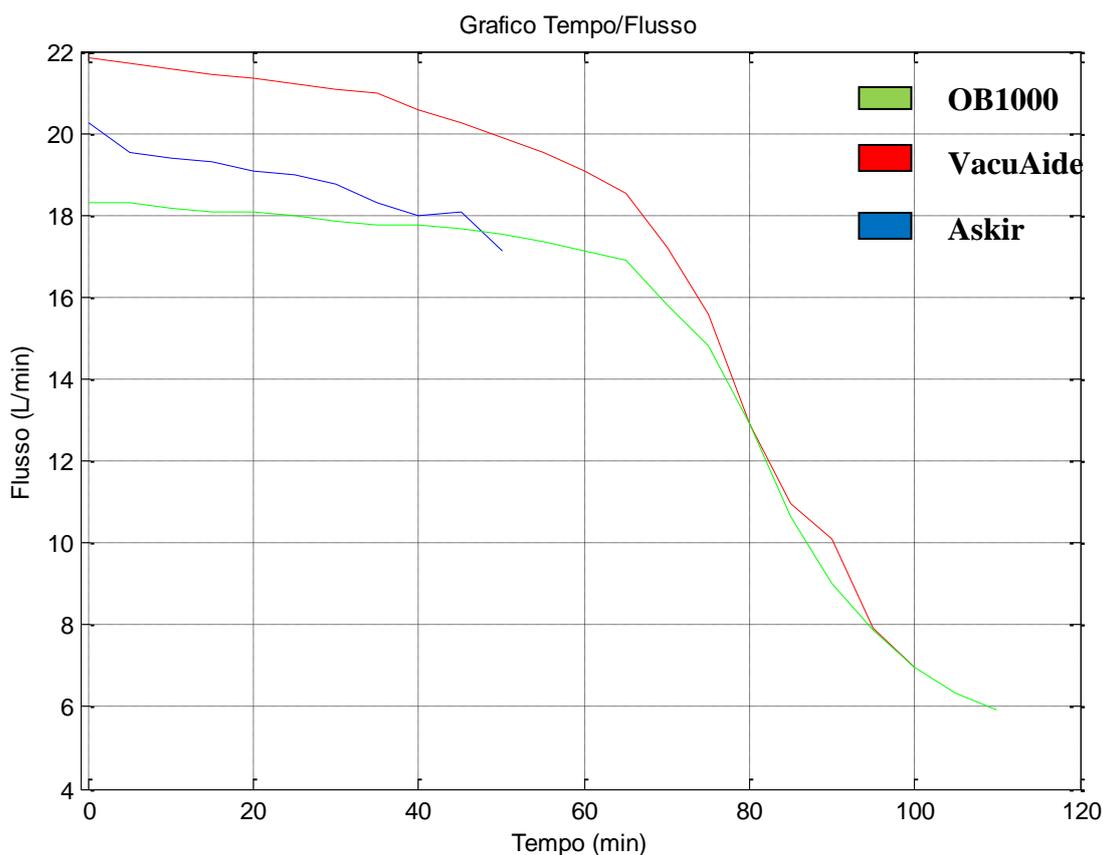


Grafico 5: Rappresentazione grafica della relazione tra flusso medio e tempo per tutti gli aspiratori, realizzata con Matlab.

Come possiamo notare il VacuAide garantisce, soprattutto nei primi 70 minuti, un flusso superiore agli altri due dispositivi sia per il valore sia per il tempo in cui viene mantenuto tale valore. Per quanto riguarda gli altri due aspiratori osserviamo che l'Askir riesce a creare un flusso superiore all'OB1000 ma che, causa la sua tipologia di funzionamento, non riesce a garantire per un periodo superiore ai 50 minuti, cosa che invece l'OB1000 riesce a fare seppur con valori di flusso non molto elevati.

2. Aspirazione con sostanze liquide:

- **Sangue:**

Le prove di aspirazioni sono state condotte in due diverse modalità:

1. Gli aspiratori sono stati testati con l'alimentazione, misurando il tempo impiegato per aspirare 700/600 mL di sangue, impostando tre diverse depressioni (massima, minima e media).
2. Gli aspiratori sono stati testati con alimentazione, a massima depressione, misurando il tempo impiegato per aspirare 600mL di sangue, ponendo gli stessi in condizioni sfavorevoli all'aspirazione, ovvero ad un'altezza superiore al contenitore del sangue (50/100 cm).

Prima prova:

Askir: 700 mL di sangue				
Depressione(Bar)	Tempo prova1(s)	Tempoprova2(s)	Tempo prova3(s)	Flusso medio stimato(L/min)
-0,8	7,93	8,22	7,65	5,30
-0,5	9,37	9,72	9,52	4,40
-0,2	11,46	13,97	12,38	3,33

Tabella 13: andamento del tempo di aspirazione/flusso stimato in funzione della depressione per l'Askir, prove 1,2,3.

OB1000: 700 mL di sangue				
Depressione(Bar)	Tempo prova1(s)	Tempoprova2(s)	Tempo prova3(s)	Flusso medio stimato(L/min)
-0,8	12,05	10,36	11,31	3,74
-0,5	11,37	11,24	13,33	3,51
-0,2	15,01	19,19	14,74	2,57

Tabella 14: andamento del tempo di aspirazione/flusso stimato in funzione della depressione per l'OB1000, prove 1,2,3.

VacuAide: 600 mL di sangue				
Depressione(Bar)	Tempo prova1(s)	Tempo prova2(s)	Tempo prova3(s)	Flusso medio stimato(L/min)
-0,74	7,98	7,16	7,38	4,79
-0,4	10,30	8,82	9,50	3,77
-0,13	16,18	13,89	13,78	2,46

Tabella 15: andamento del tempo di aspirazione/flusso stimato in funzione della depressione per il VacuAide, prove 1,2,3. Il VacuAide è stato testato con una diversa quantità di sangue in quanto la capienza del suo vaso non era sufficiente ad evitare che il sangue, agitandosi, finisse all'interno del dispositivo, il che poteva rischiare di comprometterne le funzionalità.

Commenti:

In questa prima prova abbiamo testato la capacità dei tre dispositivi nell'aspirare un certo quantitativo di sangue simulato, al variare della depressione impostata. Ogni prova ci ha fornito il valore di tempo, in secondi, che gli aspiratori impiegavano per terminare tale prova. Da questi valori abbiamo stimato un flusso di aspirazione con sangue, eseguendo una proporzione:

$$0,7L \text{ (0,6L nel caso del VacuAide)} : \text{tempo}_{\text{medio}} = \text{Flusso L/min} : 60 \text{ secondi}$$

In tutti i dispositivi, come ci si aspetta, possiamo notare una dipendenza del flusso rispetto al fattore depressione, ovvero maggiore è la depressione utilizzata e maggiore sarà il flusso. Risulta difficile fare un confronto fra il VacuAide e gli altri due dispositivi perché le depressioni utilizzate non sono le medesime, tuttavia se consideriamo il caso di depressione massima possiamo notare come rispetto all'Askir, a differenza di quanto accade nel flusso di aspirazione libero, mostra un flusso stimato numericamente inferiore. Il confronto più significativo può essere fatto tra le prestazioni ottenute dall'Askir e dall'OB1000 che hanno lavorato nelle medesime condizioni di depressione e quantità di liquido da aspirare.

La cosa più evidente è che, funzionando alle stesse depressioni, ci si aspetta che i due aspiratori ottengano delle prestazioni molto simili. Ciò non accade, e dalla differenze che possiamo notare nei tempi di aspirazioni alle varie depressioni possiamo capire anche come sia improbabile che questo effetto sia dovuto ad un errore umano (i tempi sono stati cronometrati manualmente e quindi sono soggetti ad errori di $\pm 0,2/0,3$ secondi, corrispondenti ad i tempi di reazione di un uomo adulto medio). La spiegazione più plausibile di questa differenza può essere un difetto di uno dei due dispositivi che o segnala una depressione scorretta o che è soggetta ad un malfunzionamento più generale.

Seconda prova:

Askir: 600 mL di sangue, depressione massima -0,8 Bar				
Dislivello(cm)	Tempo prova1(s)	Tempoprova2(s)	Tempo prova3(s)	Flusso medio stimato(L/min)
50	8,41	8,25	8,63	4,27
100	8,27	8,75	8,32	4,26

Tabella 16: andamento del tempo di aspirazione/flusso stimato in funzione del dislivello tra vaso e dispositivo per l'Askir, prove 1,2,3.

OB1000: 600 mL di sangue, depressione massima -0,8 Bar				
Dislivello(cm)	Tempo prova1(s)	Tempoprova2(s)	Tempo prova3(s)	Flusso medio stimato(L/min)
50	8,71	8,27	8,43	4,25
100	7,49	7,60	7,95	4,75

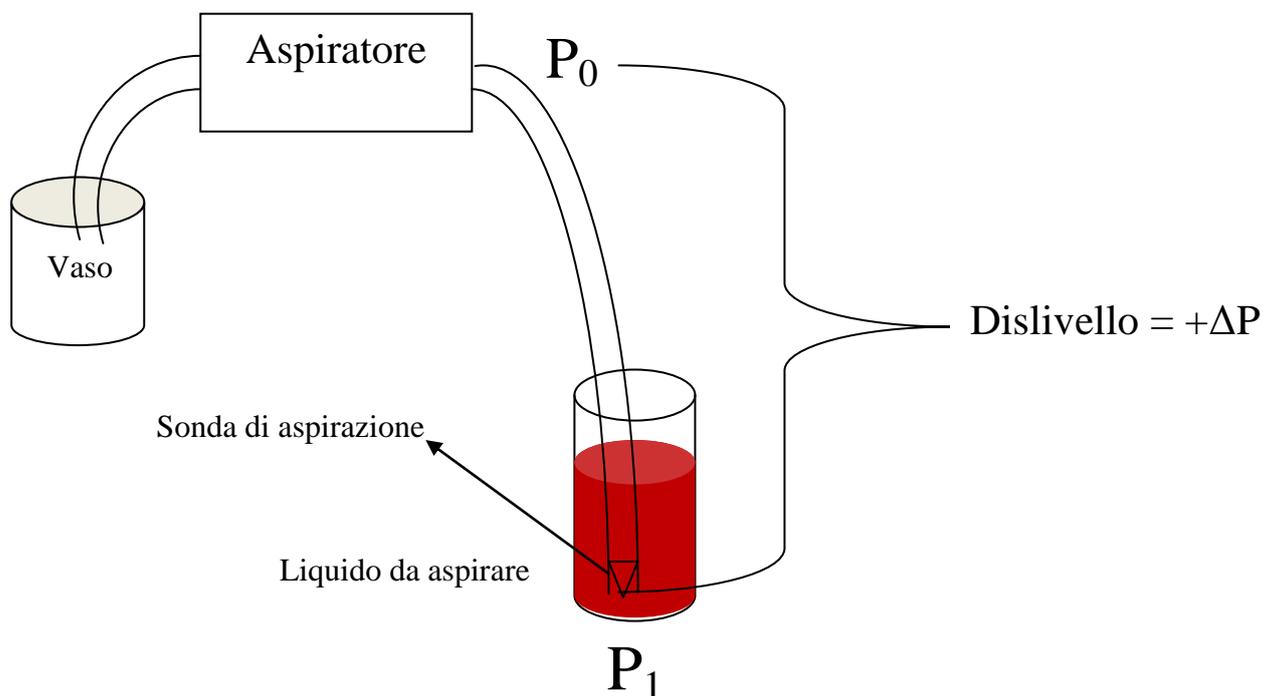
Tabella 17: andamento del tempo di aspirazione/flusso stimato in funzione del dislivello tra vaso e dispositivo per l'OB1000, prove 1,2,3.

VacuAide: 600 mL di sangue, depressione massima -0,74 Bar				
Dislivello(cm)	Tempo prova1(s)	Tempoprova2(s)	Tempo prova3(s)	Flusso medio stimato(L/min)
50	8,03	8,37	7,43	4,53
100	7,99	7,47	7,12	4,78

Tabella 18: andamento del tempo di aspirazione/flusso stimato in funzione del dislivello tra vaso e dispositivo per il VacuAide, prove 1,2,3.

Commenti:

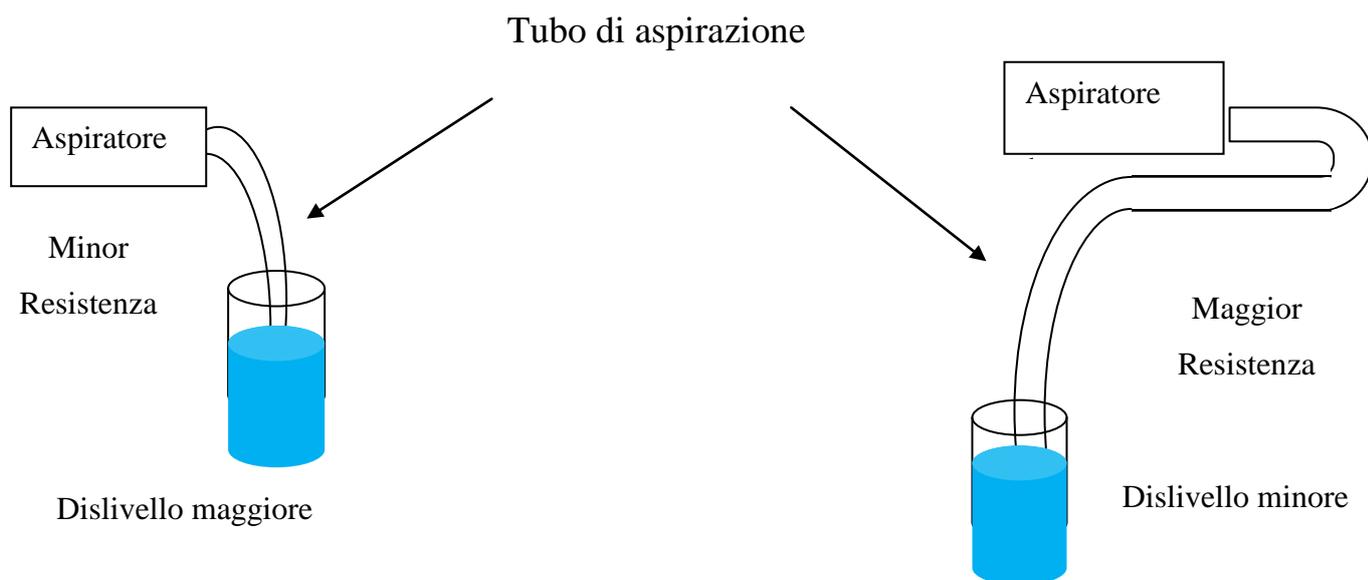
In questa prova abbiamo testato la capacità dei tre dispositivi nell'aspirare un certo quantitativo di sangue simulato (uguale per tutti), al variare del dislivello tra aspiratore e sonda di aspirazione. A differenza di ciò che ci aspettavamo, le prestazioni dei dispositivi non hanno subito decrementi al variare del dislivello:



Schema 2: Rappresentazione schematica della variazione della pressione in funzione del dislivello.

Il dislivello comporta un aumento della pressione ($P_1 > P_0$) tale che il dispositivo si trova in una situazione più svantaggiosa per la creazione del vuoto nel vaso poiché deve creare un gradiente di pressione tra vaso e atmosfera maggiore.

Dai dati rilevati, che essendo uniformi verranno poi posti ad indagine statistica, notiamo come l'Askir mantenga un flusso quasi invariato all'aumentare del dislivello, mentre l'OB1000 e il VacuAide sembrano addirittura migliorare le loro prestazioni. Questa dati, che ricordiamo sono comunque soggetti ad errori di misura non proprio trascurabili (un errore di 0,2/0,3 secondi su un tempo di 7/8 secondi può implicare un errore che può oscillare tra il 2,3% e il 4,2%), possono essere spiegati considerando il fatto che la variazione di pressione ΔP prodotta da un tale dislivello è molto piccola, tale da non creare una differenza significativa tra le prestazioni dello stesso aspiratore al variare della pressione (verificheremo successivamente questa ipotesi). Inoltre altro effetto che potenzialmente può essere il responsabile di tali risultati è la diminuzione della resistenza provocata dal tubo sul flusso di sangue, a seguito di una maggiore estensione del tubo in silicone in cui è posto la sonda di aspirazione:



Schema 3: Rappresentazione schematica della variazione delle perdite di carico in funzione della modalità di aspirazione (quindi del dislivello).

3. Tempi di ricarica:

Come Abbiamo detto in precedenza abbiamo avuti diversi problemi nello stimare i tempi di ricarica. Tuttavia abbiamo notato che per quanto riguarda questo aspetto i dati rilevati ed forniti dalle case produttrici erano affidabili:

	ASKIR	VacuAide	OB1000
Tempi di ricarica(ore)	4/5	10/17	8/15

Tabella 19: Tempi di ricarica totale dei tre aspiratori.

Ovviamente i tempi di ricarica totale sono indicativi perché dipendono dalla carica residua del dispositivo. I dati riportati si riferiscono al momento in cui venivano terminate le prove, ovvero quando l'Askir si auto interrompeva (flusso di 8/9 L/min) e quando il VacuAide/OB1000 generavano un flusso di 3/4 L/min.

Come abbiamo detto il set di accessori base presenti nel dispositivo per quanto riguarda il VacuAide e l'OB1000 non presentavano un carica batterie classico ma solo un car adapter. Questo ci ha costretto a costruirci i nostri caricabatterie con un generatore esterno. Il VacuAide dopo qualche mese ha presentato dei problemi a caricarsi che ci ha costretto a trovare un altro metodo di ricarica della batteria. Non sappiamo se questo sia un effetto dovuto al fatto che abbiamo dovuto usare un caricabatterie improvvisato o se sia stata una casualità, sta di fatto che questo è stato un grande problema per lo sviluppo delle altre prove.

4. Peso e dimensioni:

Abbiamo misurato con un metro le dimensioni dei dispositivi e i loro rispettivi pesi:

Aspiratore	Dimensioni (mm)	Peso (Kg)
Askir 36 BR	340x210x190	4,4
VacuAide 7305	240x180x170	2,9
OB1000	310x220x90	3,5

Tabella 20: Peso e dimensioni dei tre aspiratori.

I tre aspiratori presentano un peso e delle dimensioni conformi ai dati riportati nei rispettivi data sheet.

Come possiamo notare l'Askir risulta essere il dispositivo più pesante e anche il più voluminoso, ma è dotato di una struttura molto stabile, avendo una base rettangolare sufficientemente ampia. Il VacuAide è l'aspiratore più leggero, e le sue dimensioni sono equilibrate e gli conferiscono una buona stabilità come per l'Askir. L'OB1000 ha un peso compreso tra quelli degli altri due aspiratori e una dimensione molto compatta che lo rende poco voluminoso.

5. Potenza assorbita:

La potenza assorbita dal motore è stata monitorata con intervalli di tempo regolari (5 minuti), con un sistema composto da un Amperometro e un Voltmetro, come spiegato in precedenza. I valori della potenza sono stati poi ottenuti come, $P=I*V$. Riportiamo i valori delle prove sulla potenza, ottenute con i tre aspiratori:

ASKIR: prova n°1			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza (W)
0	11,28	3,62	40,83
5	10,97	3,54	38,83
10	10,91	3,56	38,84
15	10,81	3,52	38,05
20	10,71	3,50	37,49
25	10,61	3,46	36,71
30	10,49	3,43	35,98
35	10,37	3,41	35,36
40	10,22	3,40	34,75
45	10,05	3,35	33,67
50	9,75	3,36	32,76
55	8,84	3,26	28,82
60	0,00	0,00	0,00

Tabella 21: andamento della potenza in funzione del tempo per l'Askir, prova 1.

ASKIR: prova n°2			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza (W)
0	10,98	3,76	41,28
5	10,88	3,53	38,41
10	10,78	3,50	37,73
15	10,61	3,51	37,24
20	10,56	3,50	36,96
25	10,49	3,50	36,72
30	10,30	3,50	36,05
35	10,23	3,48	35,60
40	10,09	3,47	35,01
45	9,90	3,46	34,25
50	9,69	3,42	33,14
55	8,90	3,32	29,55
60	0,00	0,00	0,00

Tabella 22: andamento della potenza in funzione del tempo per l'Askir, prova 2.

ASKIR: prova n°3			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza (W)
0	11,30	3,58	40,45
5	11,09	3,47	38,48
10	11,05	3,45	38,12
15	10,97	3,43	37,63
20	10,87	3,46	37,61
25	10,76	3,44	37,01
30	10,64	3,41	36,28
35	10,49	3,44	36,09
40	10,32	3,43	35,40
45	10,12	3,43	34,71
50	9,80	3,40	33,32
55	8,97	3,23	28,97
60	0,00	0,00	0,00

Tabella 23: andamento della potenza in funzione del tempo per l'Askir, prova 3.

ASKIR: media			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza (W)
0	11,19	3,65	40,85
5	10,98	3,51	38,58
10	10,91	3,50	38,23
15	10,80	3,49	37,64
20	10,71	3,49	37,35
25	10,62	3,47	36,82
30	10,48	3,45	36,11
35	10,36	3,44	35,68
40	10,21	3,43	35,05
45	10,02	3,41	34,21
50	9,75	3,39	33,07
55	8,90	3,27	29,11
60	0,00	0,00	0,00

Tabella 24: andamento della potenza media in funzione del tempo per l'Askir.

Commenti:

Analizzando i valori della potenza assorbita dall'askir possiamo notare come i valori riportati siano elevati. Per poter analizzare meglio i consumi di tale dispositivo realizziamo un grafico tempo/potenza:

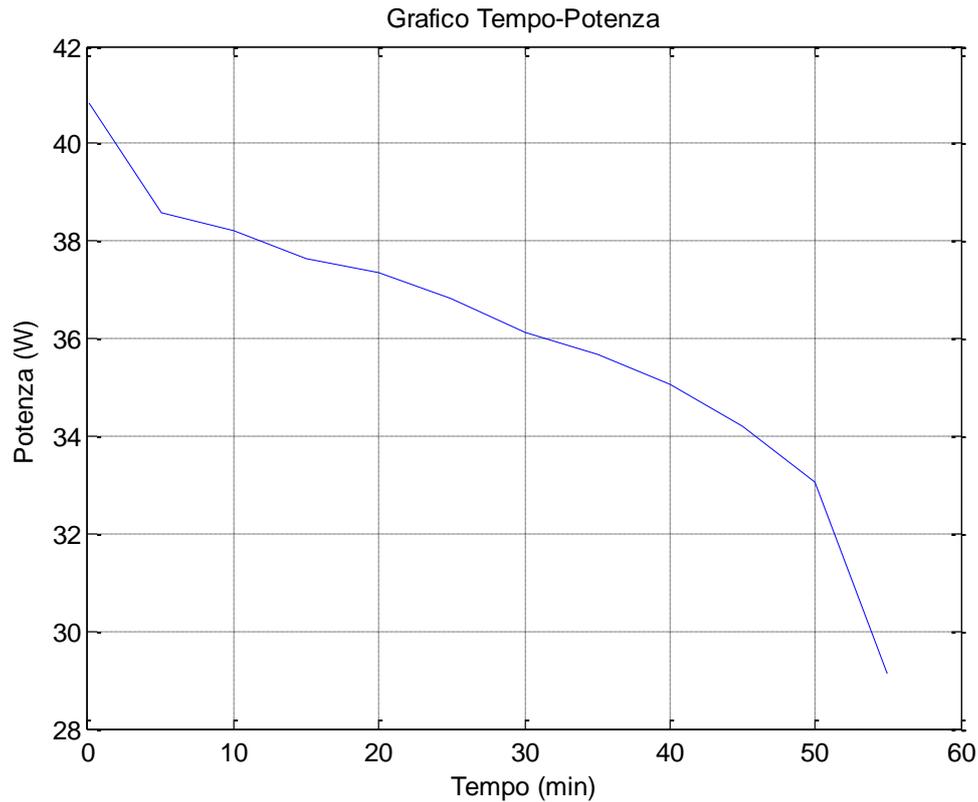


Grafico 6: Rappresentazione grafica della relazione tra potenza media e tempo per l'Askir, realizzata con Matlab.

Il grafico risulta essere caratterizzato da una prima parte lineare in cui il dispositivo, partendo da un consumo di 40 Watt, in 50 minuti arriva ad un consumo di circa 33Watt. L'ultima parte del grafico, come abbiamo spiegato anche in precedenza, è caratterizzata da una ripida pendenza, riconducibile al fatto che l'Askir si spegneva automaticamente. Proviamo a stimare la quantità di lavoro totale assorbito dal motore utilizzando il metodo dei trapezi in matlab :

Lavoro = 123680 Joule

VacuAide 7350P: prova n°1			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	10,98	1,66	18,23
5	10,96	1,50	16,44
10	10,88	1,49	16,21
15	10,83	1,49	16,14
20	10,76	1,48	15,92
25	10,69	1,47	15,71
30	10,58	1,46	15,45
35	10,42	1,44	15,00
40	9,99	1,39	13,89
45	9,50	1,32	12,54
50	9,17	1,28	11,74
55	8,89	1,24	11,02
60	8,54	1,18	10,08
65	7,86	1,09	8,57
70	7,22	1,00	7,22
75	6,74	0,94	6,34
80	6,35	0,89	5,65
85	6,11	0,86	5,25
90	5,93	0,84	4,98
95	5,73	0,82	4,70
100	5,48	0,79	4,33
105	5,20	0,76	3,95
110	4,84	0,74	3,58
115	4,28	0,69	2,95
120	3,38	0,59	1,99
125	1,88	0,50	0,94

Tabella 25: andamento della potenza in funzione del tempo per il VacuAide, prova 1.

Questa prova è stata condotta parallelamente a quella del flusso infatti notiamo che come il flusso anche il valore della potenza, rispetto alle altre due prove effettuate con il VacuAide, risulta avere un valore molto superiore alla media.

Nel conteggio dei valori medi della potenza non verranno conteggiati i dati successivi ai 105 minuti.

VacuAide 7350P: prova n°2			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	10,98	1,56	17,13
5	10,97	1,53	16,78
10	10,91	1,51	16,47
15	10,84	1,51	16,37
20	10,75	1,54	16,56
25	10,70	1,54	16,48
30	10,62	1,52	16,14
35	10,55	1,52	16,04
40	10,46	1,51	15,79
45	10,38	1,50	15,57
50	10,26	1,48	15,18
55	10,14	1,47	14,91
60	9,97	1,45	14,46
65	9,68	1,41	13,65
70	9,01	1,33	11,98
75	7,83	1,17	9,16
80	6,93	0,90	6,24
85	5,96	0,75	4,47
90	5,22	0,76	3,97
95	4,49	0,59	2,65
100	3,02	0,60	1,81
105	2,06	0,52	1,07

Tabella 26: andamento della potenza in funzione del tempo per il VacuAide, prova 2.

VacuAide 7350P: prova n°3			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	10,88	1,62	17,63
5	10,82	1,58	17,10
10	10,79	1,56	16,83
15	10,76	1,55	16,68
20	10,71	1,54	16,49
25	10,64	1,52	16,17
30	10,58	1,51	15,98
35	10,49	1,51	15,84
40	10,42	1,50	15,63
45	10,31	1,50	15,47
50	10,22	1,49	15,23
55	10,09	1,46	14,73
60	9,95	1,43	14,23
65	9,70	1,40	13,58
70	9,08	1,35	12,26
75	7,83	1,15	9,00
80	6,40	1,01	6,46
85	5,31	0,88	4,67
90	4,34	0,76	3,30
95	3,43	0,66	2,26
100	2,49	0,53	1,32
105	1,40	0,47	0,66

Tabella 27: andamento della potenza in funzione del tempo per il VacuAide, prova 3.

VacuAide 7350P: media			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	10,95	1,61	17,66
5	10,92	1,54	16,78
10	10,86	1,52	16,51
15	10,81	1,52	16,40
20	10,74	1,52	16,32
25	10,68	1,51	16,12
30	10,59	1,50	15,85
35	10,49	1,49	15,63
40	10,29	1,47	15,09
45	10,06	1,44	14,49
50	9,88	1,42	14,00
55	9,71	1,39	13,49
60	9,49	1,35	12,84
65	9,08	1,30	11,80
70	8,44	1,23	10,35
75	7,47	1,09	8,11
80	6,56	0,93	6,12
85	5,79	0,83	4,81
90	5,16	0,79	4,06
95	4,55	0,69	3,14
100	3,66	0,64	2,34
105	2,89	0,58	1,68

Tabella 28: andamento della potenza media in funzione del tempo per il VacuAide .

Commenti:

I valori della potenza assorbita dal VacuAide risultano essere sufficientemente bassi, e per analizzarli meglio ci basiamo sul grafico Tempo-Potenza:

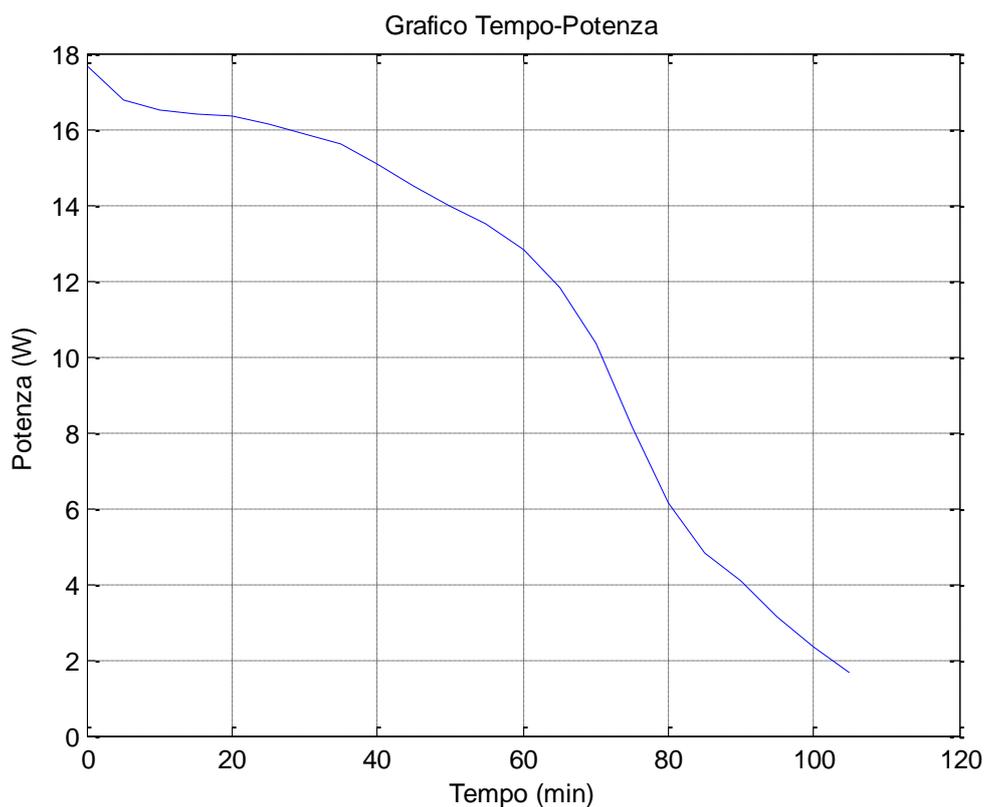


Grafico 7: Rappresentazione grafica della relazione tra potenza media e tempo per il VacuAide, realizzata con Matlab.

Così come per il flusso il VacuAide dimostra sempre un andamento non lineare caratterizzato in genere da una prima fase in cui in un largo lasso di tempo (50 minuti) vi è una piccola decrescita della variabile in considerazione (la potenza decresce di 3/4 Watt), e una seconda fase in cui aumenta la pendenza della curva fino ad arrivare a valori prossimi allo zero. Stimiamo (con matlab) il lavoro assorbito dal motore:

Lavoro = 73176 joule.

OB1000: prova n°1			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	12,62	2,19	27,64
5	12,46	2,21	27,54
10	12,27	2,20	26,99
15	12,19	2,18	26,57
20	12,11	2,20	26,64
25	12,02	2,17	26,08
30	11,94	2,15	25,67
35	11,85	2,15	25,48
40	11,75	2,13	25,03
45	11,63	2,11	24,54
50	11,51	2,10	24,17
55	11,33	2,07	23,45
60	11,16	1,99	22,21
65	10,76	1,96	21,09
70	8,78	1,60	14,05
75	7,40	1,36	10,06
80	6,51	1,22	7,94
85	5,79	1,14	6,60
90	5,36	1,08	5,79
95	4,99	1,04	5,19
100	4,72	1,01	4,77
105	4,48	0,97	4,35
110	4,28	0,94	4,02
115	4,07	0,93	3,79
120	3,85	0,91	3,50
125	3,64	0,88	3,20

Tabella 29: andamento della potenza in funzione del tempo per l'OB1000, prova1.

OB1000: prova n°2			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	12,38	2,13	26,37
5	12,36	2,12	26,20
10	12,35	2,12	26,18
15	12,30	2,12	26,08
20	12,22	2,11	25,78
25	12,15	2,10	25,52
30	12,10	2,10	25,41
35	12,01	2,09	25,10
40	11,93	2,08	24,81
45	11,78	2,06	24,27
50	11,76	2,06	24,23
55	11,60	2,02	23,43
60	11,55	1,99	22,98
65	11,40	1,96	22,34
70	11,23	1,94	21,79
75	11,04	1,89	20,87
80	10,35	1,78	18,42
85	7,87	1,36	10,70
90	6,45	1,13	7,29
95	5,65	1,03	5,82
100	5,07	0,96	4,87
105	4,55	0,91	4,14
110	4,26	0,89	3,79
115	4,08	0,85	3,47
120	3,88	0,83	3,22
125	3,55	0,80	2,84
130	3,25	0,77	2,50

Tabella 30: andamento della potenza in funzione del tempo per l'OB1000, prova

2.

OB1000: prova n°3			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	12,28	2,10	25,79
5	12,23	2,09	25,56
10	12,16	2,14	26,02
15	12,10	2,14	25,89
20	12,02	2,15	25,84
25	11,97	2,14	25,62
30	11,82	2,13	25,18
35	11,79	2,10	24,76
40	11,66	2,11	24,60
45	11,59	2,08	24,11
50	11,46	2,08	23,84
55	11,38	2,05	23,33
60	11,23	2,01	22,57
65	11,14	1,99	22,17
70	10,92	1,95	21,29
75	10,40	1,86	19,34
80	7,83	1,41	11,04
85	6,33	1,15	7,28
90	5,42	1,05	5,69
95	4,86	0,97	4,71
100	4,49	0,93	4,18
105	4,29	0,90	3,86
110	4,16	0,89	3,70
115	3,95	0,87	3,44
120	3,68	0,84	3,09
125	3,43	0,80	2,74
130	3,06	0,77	2,36

Tabella 31: andamento della potenza in funzione del tempo per l'OB1000, prova 3.

OB1000: media			
Tempo (min)	Tensione (V)	Corrente (A)	Potenza(W)
0	12,43	2,14	26,59
5	12,35	2,14	26,43
10	12,26	2,15	26,40
15	12,20	2,15	26,18
20	12,12	2,15	26,09
25	12,05	2,14	25,74
30	11,95	2,13	25,42
35	11,88	2,11	25,11
40	11,78	2,11	24,82
45	11,67	2,08	24,31
50	11,58	2,08	24,08
55	11,44	2,05	23,41
60	11,31	2,00	22,59
65	11,10	1,97	21,87
70	10,31	1,83	18,87
75	9,61	1,70	16,37
80	8,23	1,47	12,10
85	6,66	1,22	8,11
90	5,74	1,09	6,24
95	5,17	1,01	5,24
100	4,76	0,97	4,60
105	4,44	0,93	4,11
110	4,23	0,91	3,84
115	4,03	0,88	3,56
120	3,80	0,86	3,27
125	3,54	0,83	2,93
130	3,16	0,77	2,43

Tabella 32: andamento della potenza media in funzione del tempo per l'OB1000.

Commenti:

La potenza assorbita dal motore dell'OB1000 risulta essere sufficientemente elevata per un buon lasso di tempo. Come negli altri casi per un'analisi più approfondita ci basiamo sul grafico:

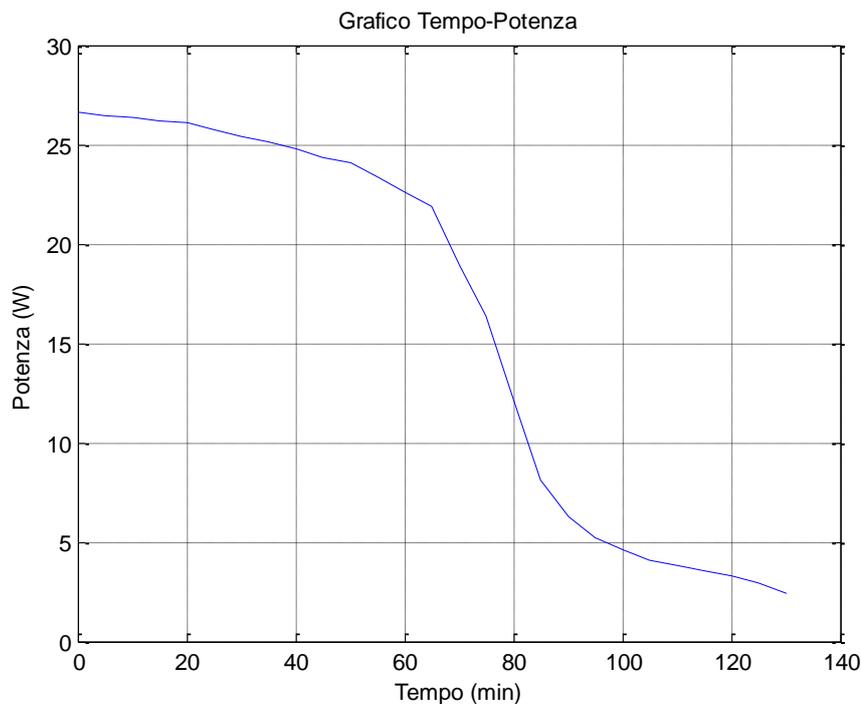


Grafico 8: Rappresentazione grafica della relazione tra potenza media e tempo per l'OB1000, realizzata con Matlab.

Come possiamo notare il grafico tempo-potenza dell'OB1000 può idealmente essere suddiviso in tre parti:

1. Nella prima parte, che va da 0 a 65 minuti, il grafico risulta essere non lineare, e risponde ad un grande lasso di tempo con una piccola variazione della potenza assorbita (3/4 Watt);
2. Nella seconda parte, tra 65 e 85 minuti, il grafico può essere idealmente considerato lineare, e presenta una ripida pendenza che porta ad una diminuzione della potenza assorbita di quasi 15 Watt in 20 minuti;
3. l'ultima parte del grafico, da 85 minuti in poi, il grafico è non lineare, e come nella prima parte tende allo zero con una pendenza poco ripida, infatti in 45 minuti vi è una diminuzione della potenza di circa 5 Watt. Stimiamo (con Matlab)

il lavoro assorbito dal motore: Lavoro = 127860 Joule

RISULTATI A CONFRONTO:

Per poter confrontare al meglio i risultati ottenuti sulla potenza assorbita dai tre aspiratori, ci basiamo sul confronto dei grafici tempo-potenza:

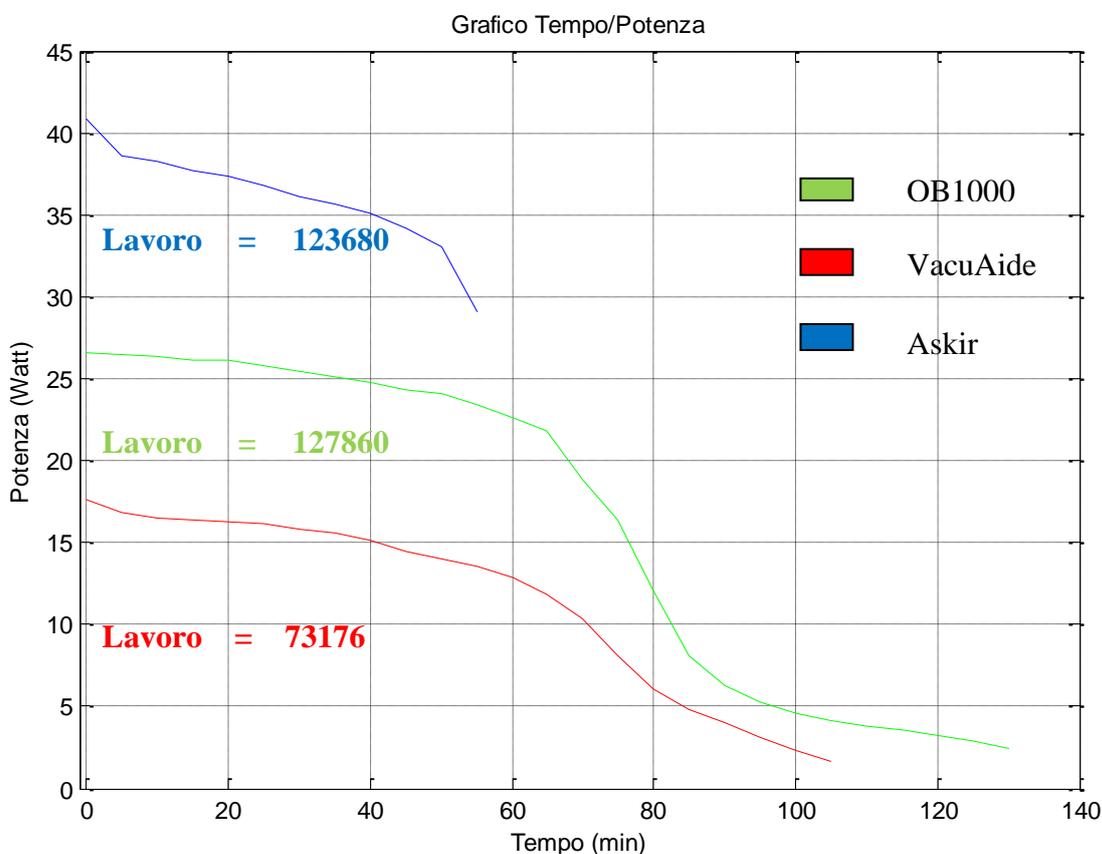


Grafico 9: Rappresentazione grafica della relazione tra potenza media e Tempo per tutti gli aspiratori, realizzata con Matlab.

Il grafico mostra come L'Askir sia l'aspiratore che consuma più degli altri. La cosa più interessante di questo grafico è che mette in risalto come il VacuAide sia l'aspiratore con il minor consumo nonostante sia anche quello capace di generare il flusso più elevato. Dal punto di vista numerico possiamo confrontare il valore del lavoro medio assorbito dai motori dei tre aspiratori durante un intero ciclo di scarica. Il valore più alto è quello dell'OB1000 che tuttavia è anche il dispositivo con una durata superiore e considerando che non supera mai i 30 Watt possiamo con certezza affermare che, in rapporto Tempo/potenza non è il peggiore. L'Askir assorbe un lavoro medio di 123KJ ma lo fa in un tempo di gran lunga inferiore agli altri due dispositivi per questo possiamo affermare con certezza che questo aspiratore sia anche quello che consuma di più.

6. Durata della batteria in uso continuo:

La durata di funzionamento dei tre aspiratori, in uso continuo, è ricavabile analizzando i dati raccolti relativi alle prove di flusso, potenza e temperatura interna, ossia quelle prove in cui il dispositivo, partendo da uno stato di carica piena, veniva scaricato completamente, o quasi. Dai dati raccolti possiamo trarre, per ciascuno dei dispositivi, le seguenti considerazioni:

1. **Askir:** ha una durata media che è compresa tra i 45 e i 50 minuti, dopo la quale automaticamente si spegne (la batteria mantiene una buona percentuale di carica residua). Il dispositivo non ha mai avuto una durata inferiore ai 40 minuti e non ha mai avuto una durata superiore ai 60 minuti.
2. **VacuAide:** ha una durata media di circa 115/120 minuti, dopo la quale il dispositivo è prossimo alla scarica completa della batteria (al motore arriva poco più di 1 Volt). Come già detto nel paragrafo del flusso, la durata della batteria risulta essere abbastanza elevata ma ciò non garantisce l'effettivo utilizzo dell'aspiratore per tutta tale durata, in quanto, dopo un periodo compreso tra i 70/75 minuti, le prestazioni subiscono un calo significativo.
3. **OB1000:** è l'aspiratore con durata della batteria maggiore (durata media 130/135 minuti), ma che, come per il VacuAide, è una conseguenza del tipo di funzionamento della scheda elettronica e che non garantisce per tale durata, delle buone prestazioni.

7. Temperatura raggiunta:

ASKIR	Prova n° 1	Prova n°2	Prova n°3
Tempo (min)	Temperatura (°C)		
0	28,0	24,1	26,1
5	56,6	55,5	48,8
10	60,5	59,5	58,8
15	62,2	61,3	60,0
20	63,4	62,5	62,4
25	64,0	65,4	66,7
30	64,3	63,7	65,9
35	64,3	64,1	65,3
40	63,9	64,4	64,7
45	----	64,4	63,6
50	----	63,6	----
55	----	----	----

Tabella 33: andamento della temperatura in funzione del tempo per l'Askir, prova 1,2,3.

VacuAide	Temperatura (°C)		
Tempo (min)	Prova n°1	Prova n°2	Prova n°3
0	26,5	26,8	28,0
5	54,8	68,0	66,0
10	56,2	68,4	67,3
15	56,6	68,3	67,6
20	56,8	66,9	67,5
25	56,7	64,8	67,4
30	56,9	64,9	67,1
35	57,0	65,2	67,1
40	56,9	65,3	66,3
45	57,0	65,3	64,8
50	56,8	65,4	63,6
55	56,8	65,4	62,1
60	56,8	65,3	61,2
65	56,3	64,7	58,5
70	56,1	63,8	56,8
75	53,3	60,6	55,2
80	50,2	56,0	54,2
85	48,1	52,0	53,4
90	47,2	51,1	53,1
95	47,2	48,3	52,6
100	47,1	48,1	52,2
105	46,0	47,6	51,8

Tabella 34: valori della temperatura in funzione del tempo per il VacuAide, prove 1,2,3.

OB 1000	Temperatura (°C)		
Tempo (min)	Prova n°1	Prova n°2	Prova n°3
0	27,7	26,0	27,3
5	40,0	45,2	46,5
10	49,0	49,0	48,3
15	52,2	49,0	50,2
20	54,8	49,5	50,8
25	55,1	49,8	50,3
30	54,9	52,2	50,5
35	51,0	51,2	51,0
40	48,9	49,3	51,3
45	48,9	52,2	51,5
50	46,8	51,3	51,0
55	47,9	49,0	50,8
60	48,1	49,8	52,0
65	49,4	49,4	51,9
70	50,1	49,1	51,8
75	47,2	48,2	51,1
80	50,2	46,5	50,5
85	45,4	45,6	46,6
90	43,8	41,5	40,7
95	43,5	38,1	39,5
100	42,5	38,6	38,8
105	41,0	36,7	37,5
110	41,0	35,9	38,3
115	40,5	35,5	38,1
120	40,0	35,7	37,7
125	39,7	35,1	37,3
130	39,5	35,3	36,5

Tabella 35: andamento della temperatura in funzione del tempo per l'OB1000, prove 1,2,3.

Commenti:

La temperatura più alta è stata rilevata nell'Askir nei getti d'aria in uscita dal silenziatore, che si trova all'interno della carcassa, collegato con il motore. I valori della temperatura sono elevati tuttavia il getto d'aria viene liberato sulla base del dispositivo, realizzata in materiale plastico, pertanto possiamo affermare con sicurezza che la temperatura raggiunta all'interno dell'Askir non è un parametro che può risultare dannoso per il corretto funzionamento dell'aspiratore.

L'elemento, all'interno del VacuAide, che raggiunge la temperatura più alta è un diodo che si trova sulla scheda elettronica. I valori della temperatura, sono abbastanza elevati, con temperature che sfiorano i 70°C. Analizzando questo elemento abbiamo visto che in realtà il diodo è realizzato per funzionare in un range di temperature molto più elevato (fino a 150°C) e, considerando che è sufficientemente distante da tutti gli altri componenti della scheda elettronica possiamo affermare che anche per il VacuAide la temperatura interna non è un parametro che può mettere a rischio il funzionamento dell'aspiratore

Per quanto riguarda l' OB1000 l'elemento che raggiunge la temperatura più elevata si trova sul cilindro in cui si muove il pistone. La temperatura avrà anche una certa dipendenza dalla velocità con cui si muove il pistone (dall'analisi dei dati osserviamo che è più elevata all'inizio quando l'aspiratore è a piena potenza). Abbiamo verificato che tale temperatura non si distribuisce uniformemente su tutta la superficie del cilindro, fattore che ha creato molte difficoltà nel rilevarla. Le temperature più alte registrate non superano i 55° C e, considerando che il cilindro è realizzato in materiale plastico possiamo affermare che anche per l'OB1000 la temperatura non è un fattore critico per il corretto funzionamento dell'aspiratore.

3.2) Analisi statistica

Per l'analisi statistica è stato utilizzato un test ANOVA per misure ripetute tramite software NCSS, applicato alle caratteristiche adeguate a questo tipo di analisi: flusso di aspirazione, potenza assorbita dal motore e capacità di aspirazione con sangue.

Capacità di aspirazione con il sangue

Dal test ANOVA effettuato solo sulle tempistiche di aspirazione dei tre dispositivi in relazione ai vari dislivelli, possiamo affermare che esiste una differenza significativa dei tempi di aspirazione ($p < 0,05$) tra i tre aspiratori. Possiamo inoltre affermare che, dai dati rilevati, esiste una differenza significativa del tempo di aspirazione rispetto al fattore dislivello.

Mediante Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test si sono evidenziate le differenze del tempo di aspirazione in funzione del dislivello, come mostrato in figura:

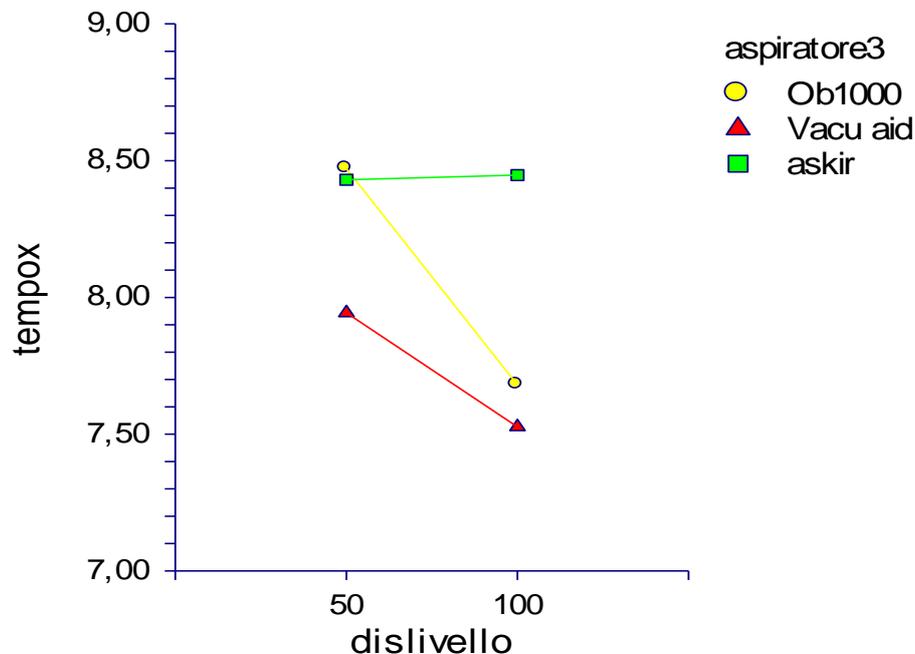


Grafico 10: Rappresentazione della relazione tempo di aspirazione/dislivello, realizzata in NCSS.

Il test ha mostrato in particolare come il tempo di aspirazione dell'Askir sia significativamente maggiore ($p < 0,05$) di quello del VacuAide, in relazione a dislivello di 100 cm.

Flusso di aspirazione:

Per il flusso di aspirazione sono stati posti in analisi solo i dati relativi ai primi 40 minuti di funzionamento, in modo da poter avere dei dati consistenti su tutti gli aspiratori. I risultati ottenuti sul flusso riportano che esiste una differenza significativa del flusso ottenuto con i tre diversi aspiratori ($p < 0,05$).

Inoltre esiste una dipendenza significativa del flusso rispetto al fattore tempo e all'interazione tra fattore tempo e aspiratore ($p < 0,05$).

Mediante Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test si sono evidenziate le differenze del flusso in particolari istanti di tempo, come mostrato in figura:

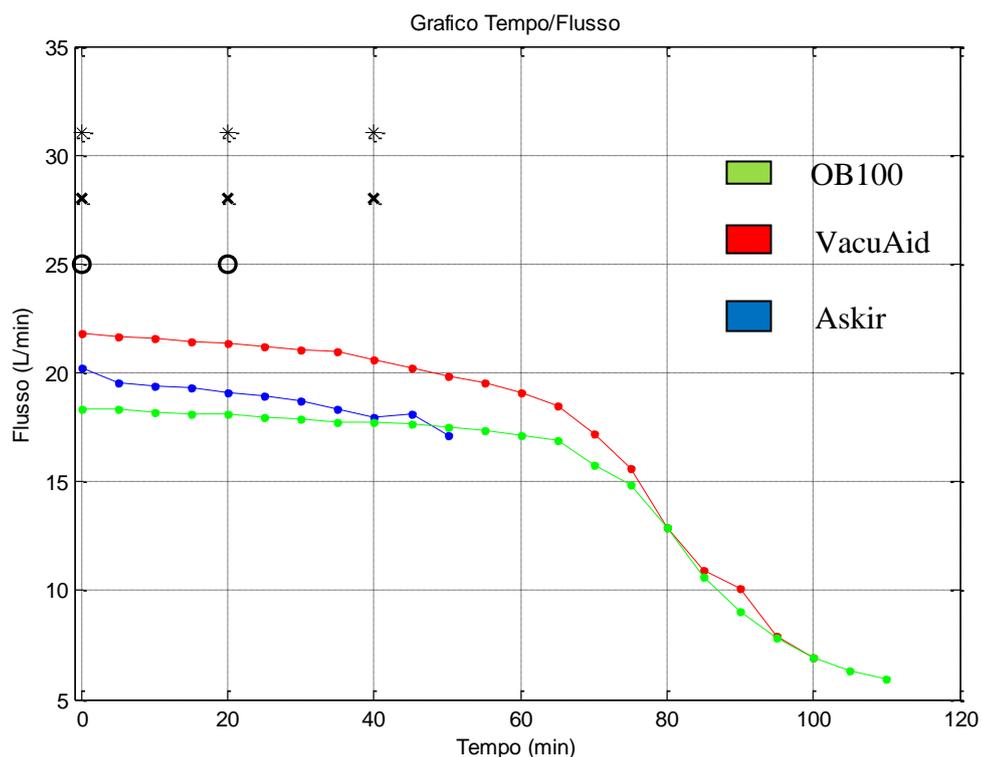


Grafico 11: Rappresentazione della relazione Tempo/flusso medio dei tre aspiratori, realizzata in Matlab. Le differenze statistiche ($p < 0,05$) agli istanti 0, 20 e 40 min tra i tre aspiratori sono segnalate dagli indicatori: ° OB1000 vs Askir; * OB1000 vs VacuAide; X Askir vs VacuAide;

Il periodo iniziale mostra l'esistenza di una differenza significativa tra gli andamenti del flusso medio dei tre aspiratori. Tale differenza si mantiene fino ai 40 minuti, quando il flusso dell'Askir ha un calo maggiore dell'OB1000, e la differenza permane solamente nei rapporti tra i flussi dell' Askir vs VacuAide e OB1000 vs VacuAide.

Anche per la potenza assorbita abbiamo utilizzato un test ANOVA per misure ripetute tramite software NCSS. I risultati ottenuti sulla potenza assorbita dal motore riportano che esiste una differenza significativa di tale grandezza, ($p < 0,05$) tra tutti i tre aspiratori. Inoltre esiste una dipendenza significativa della potenza rispetto al fattore tempo e all'interazione tra fattore tempo e aspiratore ($p < 0,05$).

Mediante Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test si sono evidenziate le differenze della potenza in particolari istanti di tempo.

In particolare il test ha evidenziato che la presenza di una differenza significativa della potenza, relativa ai tre aspiratori, riscontrata all'inizio della prova ($p < 0,05$), si mantiene in tutti gli intervalli di tempo presi in considerazione, come mostrato dai marker situati a metà e a fine prova:

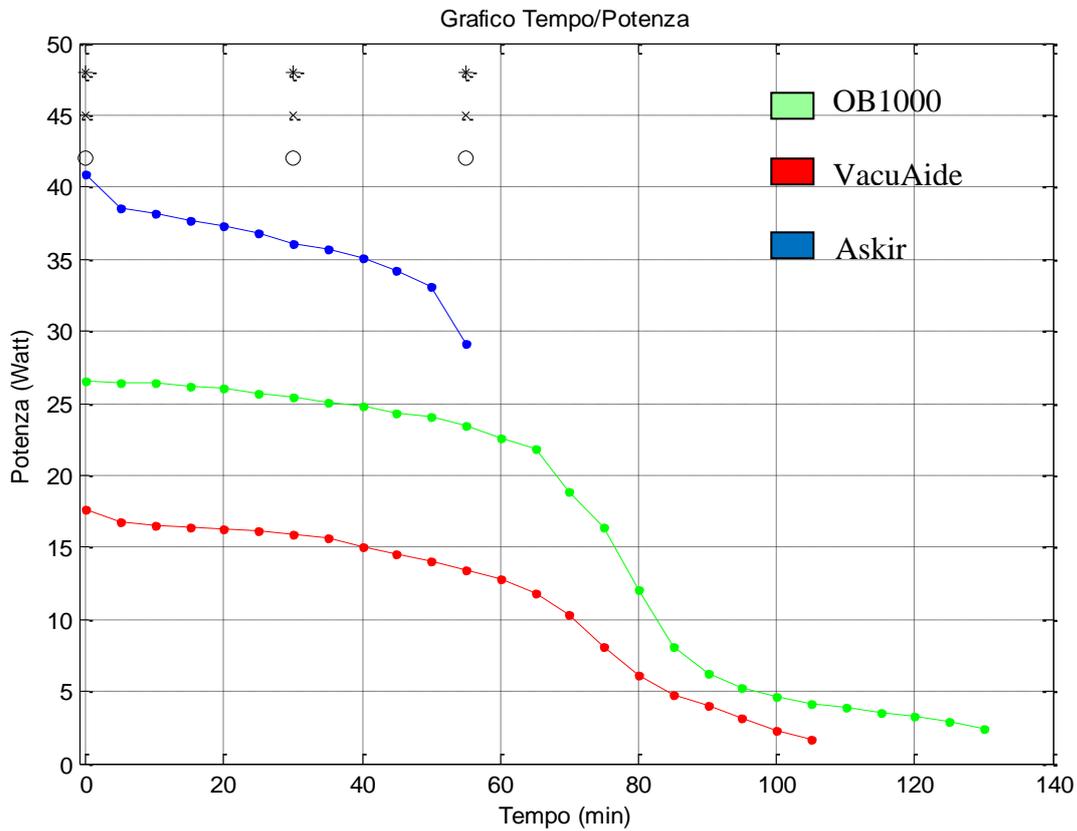


Grafico 12: Rappresentazione della relazione Tempo/potenza media dei tre aspiratori, realizzata in Matlab. Le differenze statistiche ($p < 0,05$) agli istanti 0, 30 e 55 min tra i tre aspiratori sono segnalate dagli indicatori: O OB1000 vs Askir; * OB1000 vs VacuAide; X Askir vs VacuAide;

CONCLUSIONI

Il progetto descritto in questa tesi ha portato alla creazione di un protocollo per l'acquisizione dati da aspiratori chirurgici portatili, e alla sua applicazione per il confronto delle prestazioni di tre diversi aspiratori: OB1000 (Boscarol), Askir 36 BR (CA-MI srl) e VacuAide (DeVilbiss).

Gli aspiratori sono stati testati sulle caratteristiche che meglio ne identificano il funzionamento ottenendo i seguenti risultati:

- **Flusso di aspirazione:** I tre aspiratori hanno mostrato un flusso significativamente differente per la maggior parte della durata di funzionamento e in tutte le prove.. Il dispositivo che è riuscito a generare un flusso superiore, sia in valore e sia in durata è stato il VacuAide. L'aspiratore che ha generato, nel corso delle tre prove, il flusso con i valori più bassi è stato invece l'OB1000. Ciò che è importante sottolineare è che, per quanto riguarda questa caratteristica si sono riscontrate delle differenze piuttosto consistenti rispetto ai valori forniti dai data sheet dei tre aspiratori:

Aspiratore	Valore massimo registrato (L/min)	Valore massimo (L/min) (fornito dal data sheet)
Askir 36 BR	21,33	36*
VacuAide 7305	22,08	27
OB1000	18,41	22

Tabella 36: confronto tra i valori del flusso massimo registrati dagli aspiratori e valori forniti dai rispettivi data sheet.

*Il valore riportato nel data sheet dell'Askir è specificato esser stato ottenuto senza la connessione ai vasi. Non è stato possibile verificare questo valore con il flussimetro a nostra disposizione.

- **Capacità di aspirazione con sostanze liquide:** I tre aspiratori hanno dimostrato, indistintamente, di avere un tempo di raggiungimento del vuoto impostato maggiore del tempo necessario a riempire i propri vasi porta liquidi. Per quanto riguarda le prove di aspirazione con il sangue simulato abbiamo potuto constatare che, indipendentemente dal fattore depressione l'askir ha generato un flusso superiore agli altri due dispositivi (le depressioni sono state scelte in modo tale da testare l'aspiratore con la depressione massima, media e minima generabile). Le prestazioni dei dispositivi hanno mostrato un'indipendenza dal fattore dislivello rispetto alla sonda di aspirazione, in particolare l'OB1000 e il VacuAide hanno mostrato un leggero aumento del flusso generato, probabilmente dovuto alla diminuzione delle perdite di carico legate alla disposizione del tubo di aspirazione.
- **Tempi di ricarica:** questa particolare caratteristica è stata, per una serie di motivi, già spiegati, la più difficoltosa da testare. Abbiamo che i tre aspiratori hanno dei tempi di ricarica molto diversi e anche molto variabili (a seconda della carica residua). In generale non abbiamo notato una grande differenza tra i valori indicati dei data sheet dei dispositivi e il tempo impiegato per ricaricarli (al massimo qualche ora). È opportuno sottolineare che, soprattutto per via del tipo di funzionamento delle schede elettroniche dei dispositivi (quella dell'askir porta allo spegnimento automatico dell'aspiratore quando la batteria raggiunge una certa soglia di tensione), esiste un grande divario tra i tempi di ricarica totali dei dispositivi. L'askir si ricarica molto velocemente (al massimo 4/5 ore) in quanto la batteria (12V) mantiene sempre una carica residua non inferiore agli 8/9 V. Il VacuAide e l'OB1000, invece, hanno dei tempi di ricarica molto lunghi (fino a 18 ore il VacuAide e fino a 16 ore l'OB1000) e che dipendono fortemente dalla carica residua (se molto scarichi possono impiegare anche 10 ore in più del normale).

- **Peso e dimensioni:** I tre aspiratori hanno delle dimensioni e pesi conformi a quanto dichiarato nei rispettivi data sheet. L'askir è il più pesante e anche il più voluminoso. Il più leggero è il VacuAide il quale tuttavia non è il meno voluminoso. Ciò che abbiamo notato è che l'OB1000 è sì l'aspiratore con le minor dimensioni (quindi molto facilmente trasportabile), ma è anche il meno stabile poiché la base su cui poggia è larga solo 9 centimetri e leggermente tondeggiante:



Figura 7: visuale anteriore dell' OB1000, Boscarol.

- **Potenza assorbita dal motore:** In questa particolare caratteristica, i tre aspiratori hanno mostrato una differenza significativa durante tutta la durata di funzionamento. In Particolare l'Askir si è dimostrato il dispositivo con una maggiore potenza/lavoro assorbito se rapportato in funzione della medesima durata (l'OB1000 ha in generale un lavoro assorbito leggermente superiore a quello dell'Askir, tuttavia questo accade perché tale aspiratore ha una durata molto maggiore a quella dell'Askir). Ciò che abbiamo potuto notare è che, nonostante sia il dispositivo in grado di generare il flusso numericamente più elevato, il VacuAide ha anche la potenza assorbita/lavoro assorbito dal motore minore tra i tre dispositivi.

- **Durata della batteria in uso continuo:** Come abbiamo detto la durata della batteria dipende da tipo di funzionamento specifico dell'aspiratore (l'Askir si spegne automaticamente dopo al massimo un'ora gli altri due continuano a funzionare fino alla completa scarica). Se definiamo 15 L/min, come il limite di flusso, ovvero il valore al di sotto del quale il dispositivo si può considerare non più utilizzabile, allora possiamo dire che il VacuAide e l'OB1000 garantiscono un tempo di utilizzo superiore all'Askir (tempo di utilizzo massimo 60 minuti), ovvero circa 75 minuti.
- **Temperatura interna dell'aspiratore:** Grazie una termocoppia abbiamo individuato dove si trovava il punto più caldo all'interno del dispositivo, ne abbiamo identificato la funzione e ne abbiamo misurato la temperatura man mano che il dispositivo si scaricava. Abbiamo constatato che in generale le temperature più elevate possono essere riscontrate nel VacuAide (temperature che sfiorano i 70°C), mentre negli altri due aspiratori si raggiungono valori di temperatura inferiori (Askir massimo 65°C, OB1000 massimo 55°C). In tutti i dispositivi abbiamo constatato che tali temperature non potevano essere fonte di futuri problemi.

APPENDICE

Data Sheet : OB1000

TECHNICAL DATA AND CONFORMITY TO INTERNATIONAL LAW

Classification according to the MDD93/42/EEC

The Boscarol OB1000 is an ACTIVE MEDICAL SUCTION UNIT for use in the field and for transportable use in accordance with ISO10079-1:2009.

MDD Classification:	IIb
Vacuum degree:	HIGH VACUUM-HIGH FLOW
Mode of operation:	TEMPORARY (maximum continuous use 60 minutes)
Electrical requirements:	SELV (12÷15 Vdc)
Use of the device in the home environment:	complying to IEC60601-1-11:2010
Degree of protection against electric shock (IEC60601-1):	TYPE BF
With respect to protection from electric shock:	CLASS II
Degree of protection against ingress of liquids (IEC529):	IP34d
Accordance with general IEC60601-1:	Complying with the 3° Edition

Dimensions

Max dimensions:	320 mm (width) x 100 mm (depth) x 250 mm (height) 12.6 in (width) x 3.94 in (depth) x 9.84 in (height)
Weight:	3,5 Kg max. complete with all accessories
Tolerance on all values:	±5%

Technical data

Max vacuum power:	800 mbar (80 kPa, 600 mmHg) ±10%
Vacuum Regulation:	linear
Vacuum range regulation:	30÷800 mbar (3÷80 kPa; 22.5÷600 mmHg)
Max flow rate:	>22 litres per minute with free air ±10%
Max running time with the maximum current-load:	Approximately 40 minutes ±10%
Approximate maximum noise energy:	65 dBA
Accuracy of the analogue gauge:	±5%
Accuracy of the battery power monitor:	±5%

Power supply

Running/charging:	12÷15 Vdc (Direct Current)
Max current load:	70 W (max. current 6 A)
Battery:	Internally mounted, rechargeable hermetically sealed acid type, Capacity 3,4 Ah
Max time for recharging:	15 hours

Data Sheet: VACUAIDE 7305

SPECIFICHE E CLASSIFICAZIONI

Dimensioni	A x L x P (cm)
Serie 7305P & 7305D	.22.9 x 17.8 x 20.3
Peso	(kg)
Serie 7305D	.1.7
Serie 7305P	.2.9
Requisiti elettrici	.100-240 V AC 50/60 Hz .75 A max; 12 V DC, 33 W max
Batteria interna ricaricabile	
Serie 7305P	.di serie
Serie 7305D	.opzionale (installazione presso il rivenditore)
Livelli di depressione	
Serie 7305P & 7305D	.da 80 a 550 mm Hg
Flusso aria (ingresso pompa):	.27 LPM (flusso libero) tipico (può essere inferiore con alimentazione a batteria)
Capacità recipiente di raccolta	
Serie 7305 D & P	.800 ml (cc) monouso
Serie 7305 D & P - Opzionale	.1200 ml (cc) multiuso
Condizioni ambientali	
Temperatura operativa	.da 0 °C a 40 °C
Umidità relativa operativa	.0-95%
Pressione atmosferica operativa	.10.2 Psi (70 kPa) - 15.4 Psi (106 kPa)
Temperatura di immagazzinamento e trasporto	.da -40 °C a 70 °C
Umidità relativa di immagazzinamento e trasporto	.0-95%
Pressione atmosferica di immagazzinamento e trasporto	...7.3 Psi (50 kPa) - 15.4 Psi (106 kPa)
Garanzia	
Serie 7305P	.Due anni, esclusa batteria interna e recipiente di raccolta
Serie 7305D	.Due anni, escluso recipiente di raccolta
Batteria interna	.90 gg
Approvazioni	
Serie 7305D, & 7305P	.IEC 601-1 CAN/CSA-C22.2 No. 601.1-M90: UL 60601-1. EN 60601-1-2

Data Sheet: Askir 36 BR

CARATTERISTICHE TECNICHE

TIPOLOGIA (Direttiva 93/42/EEC)	Dispositivo Medico Classe IIa
MODELLO	NEW ASKIR 230/12V BR
UNI EN ISO 10079-1	ALTO VUOTO / BASSO FLUSSO
ALIMENTAZIONE	230V~ / 50Hz o alimentazione interna (Batteria al PB 12V 3Ah) o 12Vdc (1.9A) form car battery
POTENZA ASSORBITA	50VA
FUSIBILE	F 1 x 630mA 250V
ASPIRAZIONE MASSIMA (senza connessione vasi)	-75kPa (-0.75 Bar)
ASPIRAZIONE MINIMA (senza connessione vasi)	Minore di -40kPa (-0.40 bar)
FLUSSO MASSIMO D'ASPIRAZIONE (senza connessione vasi)	16 l/min
PESO	4.9Kg
DIMENSIONI	350 x 210 x 180 mm
DURATA BATTERIA	45 ÷ 50 minuti
TEMPO DI RICARICA BATTERIA	120 ÷ 150 minuti
CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Temperatura ambiente: 5 ÷ 35°C Percentuale umidità ambiente: 30 ÷ 75% RH Altitudine: 0 ÷ 2000m s.l.m.
CONDIZIONI DI CONSERVAZIONE E TRASPORTO	Temperatura ambiente: -40÷ 70°C Percentuale umidità ambiente: 10 ÷ 100% RH