

---

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
CAMPUS DI CESENA  
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA BIOMEDICA

***PROTOTIPIZZAZIONE DI CAPP A DISINQUINANTE PER  
APPLICAZIONI OSPEDALIERE CON TECNOLOGIA KOALA***

Tesi in  
Ingegneria Clinica

CANDIDATO:  
Marco Sanchioni

RELATORE:  
Chiar.mo Prof. Claudio Lamberti

CORRELATORE:  
Dr. Marco Rossi

Sessione III – Appello I  
Anno Accademico 2013/2014



# Sommario

INTRODUZIONE .....	5
Capitolo 1 - LE INFEZIONI OSPEDALIERE .....	7
1.1. COSA SONO LE INFEZIONI OSPEDALIERE? .....	7
1.2. DATI .....	8
1.3. FATTORI PREDISPONENTI .....	8
1.4. FONTI E TRASMISSIONE.....	11
1.5. PREVALENZA DELLE SEDI D'INFEZIONE .....	12
1.6. MICROORGANISMI RESPONSABILI.....	14
1.6.a. Resistenza agli antibiotici .....	16
1.6.b. Ceppi di reparto.....	17
1.7. RUOLO DEL PARTICOLATO .....	17
1.8. PREVENZIONE.....	20
Capitolo 2 - D.A.TECH. E LA TECNOLOGIA NANO-SAFE KOALA.....	21
2.1. L'AZIENDA D.A.TECH. ....	21
2.2. LA TECNOLOGIA NANO-SAFE KOALA .....	22
2.3. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO .....	23
2.3.a. Ionizzazione negativa dell'aria .....	25
2.4. VALIDAZIONI STRUMENTALI.....	26
Capitolo 3 - PROTOTIPO DI CAPP A DISINQUINANTE .....	31
3.1. UN PROGETTO INNOVATIVO .....	31
3.1. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE.....	32
Capitolo 4 - SPERIMENTAZIONI .....	38
4.1. STRUMENTI DI MISURA .....	38

4.1.a.	Contatore laser di particelle aerodisperse (PSP).....	39
4.1.b.	Contatore di particelle a condensazione (CPC) .....	40
4.1.c.	Campionatore microbiologico d'aria (SAS).....	42
4.1.d.	Contatore di ioni in aria (AIC).....	43
4.2.	TEST SUL KOALA .....	45
4.2.a.	Prova di imbuto per particolato .....	45
4.2.b.	Prova di imbuto per carica batterica.....	47
4.3.	TEST SULLA CAPPA .....	51
4.3.1.	Test di abbattimento del particolato .....	52
4.3.2.	Test sulla sanificazione della superficie.....	57
Capitolo 5 - CONCLUSIONE.....		63
BIBLIOGRAFIA .....		66
ABBREVIAZIONI .....		68
APPENDICE .....		69
1.	Scheda tecnica Koala .....	69
2.	Risultati prova di imbuto Koala per particolato fine .....	70
3.	Risultati test superfici cappa .....	71

## INTRODUZIONE

Le infezioni ospedaliere (o nosocomiali) sono le complicanze più frequenti e gravi nell'ambito dell'assistenza sanitaria, e costituiscono una delle maggiori cause di morbilità e mortalità. Tale denominazione comprende un insieme piuttosto eterogeneo di condizioni diverse sotto il profilo sia microbiologico che epidemiologico, ma accomunate dall'elevato impatto sulla salute dei pazienti e sui costi sanitari.

Molti fattori contribuiscono a condizionare la frequenza delle infezioni nosocomiali, tra cui la compromissione delle difese immunitarie dei pazienti, l'invasività delle nuove tecnologie e pratiche sanitarie in campo diagnostico/terapeutico, l'esecuzione di procedure assistenziali nel non rispetto delle norme igieniche da parte degli operatori sanitari, l'utilizzo estensivo degli antibiotici con conseguente insorgenza di ceppi batterici resistenti; per ultimo, non a caso, l'inquinamento dell'ambiente ospedaliero.

Ad oggi, infatti, la contaminazione microbica dell'ambiente (aria e superfici) è ritenuto un fattore di rischio secondario, rispetto alla correttezza dei comportamenti degli operatori (rispetto delle procedure di asepsi<sup>1</sup>, delle precauzioni di isolamento, adeguate tecniche operatorie, ecc), per la quale si sono concentrati gran parte degli sforzi in materia di prevenzione. Ciò probabilmente è anche dovuto al fatto che finora nessuna tecnologia è stata in grado di intervenire in maniera adeguata sulla decontaminazione microbica di aria e superfici.

I dati allarmanti sulle infezioni ospedaliere a livello mondiale sono la prova che le misure adottate finora per contrastare il problema non sono sufficienti; inoltre il monito lanciato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità riguardo alla progressiva perdita d'efficacia delle terapie antibiotiche impone di trovare al più presto nuove armi per la lotta alle infezioni.

Una via sperimentale e innovativa, volta alla riduzione della frequenza d'infezioni ospedaliere, potrebbe essere proprio il disinquinamento dell'aria indoor negli ambienti ospedalieri e delle superfici a contatto diretto con il paziente, ottenibile per mezzo di una tecnologia ad hoc: la "Tecnologia Nano-Safe Koala®" (brevettata da D.A.TECH., azienda specializzata nel disinquinamento dell'aria indoor).

---

<sup>1</sup> Pratica, introdotta da J. Lister nel 1865, volta a ridurre o eliminare la presenza di agenti contaminanti (batteri, virus, funghi, parassiti) che possono causare infezioni durante le procedure medico-chirurgiche. Si avvale dell'uso di strumenti sterilizzati con diverse tecniche (vapore, calore secco, raggi UV).  
Enciclopedia Treccani (Treccani.it)

Per l'applicazione di tale tecnologia in ambito ospedaliero è stata progettata una "cappa disinquinante", pensata per essere installata al di sopra del posto letto, al fine di fornire al paziente aria incontaminata e di sanificare le superfici a contatto con esso.

Una volta realizzato il prototipo, sono state condotte delle sperimentazioni per testarne l'efficacia e l'efficienza, per mezzo di strumenti specifici per quanto riguarda l'analisi dell'aria, e con test biologici per quanto riguarda l'analisi delle superfici.

Il seguente elaborato è suddiviso in 5 capitoli, che corrispondono alle fasi di lavoro del mio tirocinio presso l'azienda D.A.TECH.:

FASE 1: studio del problema "infezioni ospedaliere" (Cap. 1);

FASE 2: studio del principio di funzionamento della "Tecnologia Koala" (Cap. 2);

FASE 3: progettazione e successiva realizzazione del prototipo "cappa" (Cap. 3);

FASE 4: sperimentazioni per la valutazione delle capacità disinquinanti del prototipo su aria e superfici (Cap.4);

FASE 5: analisi dei risultati ottenuti e possibili sviluppi futuri (Cap. 5).

# Capitolo 1 - LE INFEZIONI OSPEDALIERE

Uno degli obiettivi fondamentali per i servizi sanitari è garantire la sicurezza del paziente, mediante azioni mirate alla prevenzione dei rischi evitabili dovuti all'assistenza sanitaria; tra i rischi più frequenti trovano largo spazio le infezioni ospedaliere, che rappresentano un grave problema, non solo per quanto riguarda i danni alla salute dei pazienti, ma anche per i costi aggiuntivi a carico dei servizi sanitari.

## 1.1. COSA SONO LE INFEZIONI OSPEDALIERE?

Per Infezione Ospedaliera o Nosocomiale si intende un'infezione insorta durante o dopo il ricovero ospedaliero, che non era né presente, né era in incubazione, al momento dell'ammissione, ma che compare durante o dopo il ricovero e da questo è determinata (1); in genere si rendono evidenti dopo 48 ore o più dal ricovero e successivamente alla dimissione, ma sono classificate come "Infezioni Ospedaliere" perché causalmente riferibili al ricovero medesimo per tempo di incubazione, agente eziologico e modalità di trasmissione.

L'evoluzione dei sistemi sanitari nel tempo ha reso questa definizione non del tutto esauriente: mentre prima l'ospedale era il luogo in cui si svolgeva la maggior parte degli interventi assistenziali, a partire dagli anni Novanta, con l'aumento di pazienti ricoverati in gravi condizioni, gli ospedali sono diventati sempre più strutture ad alta concentrazione tecnologica, destinate ad affrontare soprattutto problemi sanitari acuti in tempi relativamente ristretti; per questo l'erogazione di molte prestazioni assistenziali è stata delegata a strutture extra-ospedaliere (come residenze sanitarie assistite per anziani, assistenza domiciliare, ambulatori o strutture per day hospital). Il fatto che i pazienti di tali centri siano in condizioni meno gravi di quelli ricoverati in ospedale non li esclude dal rischio di infezione, soprattutto legato all'ormai largo uso di tecnologie sanitarie. Da qui la necessità di ampliare il concetto di infezioni ospedaliere a quello di "Infezioni Correlate all'Assistenza sanitaria e sociosanitaria" (ICA) o "Healthcare-Associated Infections" (HAI) (2). Perciò di seguito si farà riferimento alle infezioni ospedaliere con la sigla ICA.

## 1.2. DATI

In Italia circa 500000 pazienti su 9 milioni e mezzo di ricoverati l'anno sono affetti da un'infezione contratta in ospedale. Una percentuale compresa tra il 5 e l'8% dei pazienti ospedalizzati quindi contrae un'infezione durante il ricovero e l'1% ne muore (3); il costo extra a carico del Servizio Sanitario Nazionale (SSN) nel triennio 2008-2010 oscilla tra 4.8 e 11.1 miliardi di euro (4). Ma il problema non è solo italiano: si è stimato che giorno negli ospedali europei sono circa 80.000 i pazienti affetti da almeno un'ICA, mentre la stima annua si aggira intorno ai 3.2 milioni (5); ciò comporta 16 milioni di giornate aggiuntive di degenza, 37.000 decessi attribuibili e 110.000 decessi per i quali l'infezione rappresenta una concausa. I costi vengono stimati in approssimativamente 7 miliardi di euro, includendo solo quelli diretti (6).

Gli studi effettuati indicano che è possibile prevenire il 30% delle infezioni insorte, con conseguente abbassamento dei costi e miglioramento del servizio sanitario (3); per questo motivo i tassi di ICA sono stati proposti come “*evento sentinella*” della qualità assistenziale erogata nelle strutture ospedaliere, e il Ministero della Sanità ha inserito proprio tra gli indicatori di efficienza e di qualità dell'assistenza ospedaliera il N° di casi di ICA per 1000 dimissioni.

## 1.3. FATTORI PREDISPONENTI

Il rischio di contrazione di una ICA è molto variabile e dipende da vari fattori, legati sia al paziente che alla struttura assistenziale.

### Il paziente

In generale, la frequenza e la gravità delle ICA sono tanto maggiori quanto più grave è la compromissione delle difese immunitarie del paziente; i meccanismi di difesa del corpo umano verso le infezioni sono:

- a. barriere epiteliali cutanee/mucose;
- b. fagocitosi;
- c. Immunità umorale (anticorpi);
- d. Immunità cellulare (linfociti B e T).

Se tali meccanismi vengono alterati, la suscettibilità del soggetto alle infezioni aumenta.

Perciò i fattori legati al paziente che favoriscono l'incombenza di una ICA sono (7):



**Età** - sia i neonati che gli anziani sono soggetti immunodepressi: i primi non hanno ancora sviluppato del tutto le difese immunitarie, mentre nei secondi sono ormai indebolite.

**Malattie concomitanti** - pazienti affetti da tumori, immunodeficienza, diabete, anemia, cardiopatie, insufficienza renale.

**Esposizione a procedure invasive** - possono essere sia a scopo terapeutico che diagnostico (es. interventi chirurgici, cateterismi, endoscopie); comportano il superamento delle barriere difensive superficiali, permettendo l'accesso diretto ad aree del corpo normalmente sterili, e possono favorire la moltiplicazione dei microrganismi sia per le condizioni favorevoli che si determinano (presenza di materiali plastici, di liquidi, creazione di nicchie ove i microrganismi possono crescere) che per contaminazione degli strumenti stessi, durante la produzione o al momento dell'uso.

Di seguito sono riportate alcune delle procedure invasive con le rispettive tipologie d'infezioni che possono causare.

<b>Tipo di procedura</b>	<b>Tipo di infezioni</b>
Cateterismo vescicale	Batteriuria, infezioni sintomatiche vie urinarie, sepsi
Cateterismo venoso e arterioso, periferico e centrale	Infezione del sito, tromboflebite, sepsi, endocardite
Aspirazione tracheo-bronchiale	Polmonite, sepsi
Respirazione assistita	Polmonite, sepsi
Intervento chirurgico	Infezione del sito chirurgico (superficiale, profonda, d'organo)
Emodialisi	Epatite, Sepsi, Infezione locale dello shunt
Protesi valvolari cardiache	Endocardite

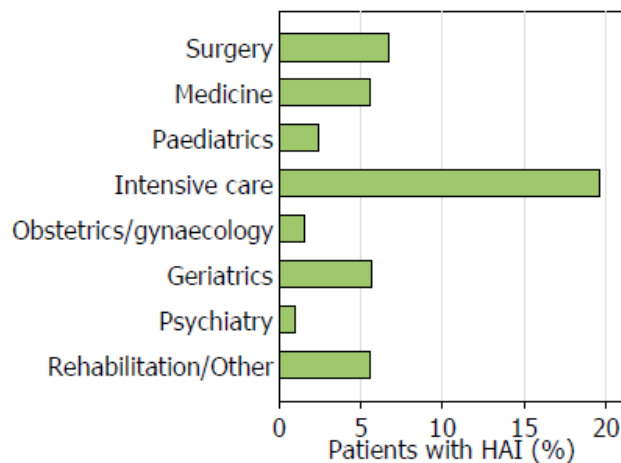
**Figura 1 – Procedure invasive e relativi rischi d'infezione**

## L'ospedale

Il livello di rischio infettivo varia sia tra diversi presidi ospedalieri che tra i reparti dello stesso ospedale; i fattori di rischio legati all'ambiente ospedaliero sono:

- specializzazione del reparto;
- durata del ricovero;
- affollamento (n° pazienti per camera);
- metodi di controllo e di profilassi da parte del personale sanitario (uso di antibiotici e disinfettanti, lavaggio delle mani);
- qualità della popolazione microbica che caratterizza ogni singola struttura ospedaliera.

I reparti nei quali si osserva una frequenza più elevata di ICA sono quelli che ricoverano pazienti in gravi condizioni e nei quali si effettuano interventi assistenziali invasivi: in particolare, i reparti di Terapia Intensiva e i reparti chirurgici (5).



**Figura 2 – Prevalenza delle ICA per ogni reparto**

L'UTI (Unità Terapia Intensiva) rappresenta in assoluto l'area ospedaliera in cui la frequenza di ICA è più elevata: i ricoverati in UTI, pur essendo il 5-19% dei pazienti totali, sviluppano circa un quarto di tutte le infezioni acquisite in un determinato presidio ospedaliero; ciò dipende principalmente dall'esposizione di pazienti immunocompromessi a procedure invasive (es. cateterismo, ventilazione artificiale, ecc.) e dell'elevata frequenza di contatti assistenziali. Anche il diffuso utilizzo di terapia antibiotica empirica ad ampio spettro gioca un ruolo rilevante, come dimostra il fatto che la frequenza di ICA sostenute da ceppi resistenti ([paragrafo 1.6.a.](#)) è molto più elevata in UTI che in altri reparti (8).

Il rapido sviluppo ed incremento di aree di terapia intensiva negli ultimi 20 anni è uno dei motivi che rendono quello delle ICA un fenomeno in continuo aumento, assieme ad altri fattori quali la presenza sempre più ampia di pazienti in condizioni cliniche gravi e deteriorate e l'utilizzo sempre più frequente di procedure diagnostico-terapeutiche ad elevato grado d'invasività.

#### 1.4. FONTI E TRASMISSIONE

La conoscenza di tutte le possibili fonti di infezione è di fondamentale importanza per la messa in atto di valide misure di controllo e prevenzione; in base alla provenienza del microrganismo, le infezioni possono essere classificate in:

- **Infezioni endogene:** causate da microrganismi presenti nella flora batterica del paziente stesso, la cui patogenicità è favorita da trattamenti antibiotici e interventi strumentali, che ne permettono la sovracrescita o la migrazione in siti estranei al loro habitat naturale (es. batteri del tratto digestivo possono causare infezioni del sito chirurgico dopo interventi addominali, oppure infezioni delle vie urinarie nei pazienti cateterizzati);
- **Infezioni esogene:** causate da microrganismi provenienti dall'esterno, sia dall'ambiente ospedaliero che dal personale sanitario o da altri pazienti; nel caso di infezioni trasmesse da paziente a paziente si parla di *infezioni crociate*. Per quanto riguarda la struttura ospitante, letti, biancheria, alimenti, stoviglie, attrezzi per le pulizie, ecc. sono tutte possibili fonti d'infezione, ma il maggior contributo l'ambiente lo fornisce attraverso l'aria e gli strumenti sanitari specificatamente adibiti a interventi diagnostici o terapeutici (9).

Le infezioni esogene sono le più frequenti ed anche le più evitabili; in questi casi i batteri possono colonizzare ed infettare il paziente attraverso diverse vie di trasmissione:

- Trasmissione per contatto
  - a) Contatto diretto: implica un contatto fisico tra due superfici corporee, tramite il quale una persona colonizzata o infetta da germi li trasmette ad un'ospite suscettibile: può trattarsi quindi di contatto tra pazienti oppure tra paziente e personale sanitario durante qualunque attività assistenziale (es. lavaggio); le mani non lavate sono la via di trasmissione diretta principale;

- b) Contatto indiretto: comporta il contatto di un ospite recessivo con oggetti contaminati che fungono da “intermediari”, come strumenti diagnostico-terapeutici: cateteri vascolari e urinari, endoscopi, tubi endotracheali, respiratori meccanici, attrezzature per dialisi, fino alle semplici siringhe, sono facili veicoli d’infezione;
- Trasmissione mediante droplet: si tratta di goccioline di dimensione superiore ai 5 micron, che possono essere prodotte mediante tosse, starnuto, semplicemente parlando o durante certe procedure come la bronco-aspirazione; tali goccioline vengono espulse a breve distanza nell’aria (1-2 m), ma a causa del troppo peso non rimangono sospese e possono depositarsi sugli ospiti suscettibili (congiuntiva, mucose nasali, bocca);
  - Trasmissione per via aerea: avviene per disseminazione di residui di goccioline evaporate contenenti microrganismi, di diametro inferiore ai 5 micron, e quindi con un peso tale da poter rimanere sospese nell’aria per lungo tempo, oppure per disseminazione di particelle di polvere (particolato) contenenti l’agente infettivo; i microrganismi in questi casi possono essere ampiamente dispersi dalle correnti dell’aria ed essere inalati anche a lunga distanza dalla sorgente (10).

Quindi, in sintesi, i veicoli d’ infezione che costituiscono un potenziale pericolo per il soggetto ospedalizzato sono:

- a) altri pazienti colonizzati o infetti;
- b) personale non attento all’igiene delle mani o alla corretta esecuzione di procedure sul paziente;
- c) strumenti non adeguatamente disinfettati;
- d) aria degli ambienti ospedalieri;
- e) superfici a contatto diretto con il paziente.

## **1.5. PREVALENZA DELLE SEDI D’INFEZIONE**

Circa il 75% del totale delle ICA riguardano esclusivamente quattro sedi d’infezione (5):

- il tratto urinario;
- le ferite chirurgiche;

- l'apparato respiratorio (polmoni e basse vie respiratorie);
- il tessuto sanguigno.

Se alla fine del secolo scorso le più frequenti erano le infezioni urinarie, che da sole rappresentavano il 35-40% di tutte le infezioni ospedaliere, seguite da quelle della ferita chirurgica (11), negli ultimi anni si sta assistendo ad un calo di questi tipi di infezioni in favore di quelle più gravi, come batterimie<sup>2</sup> e polmoniti, che più incidono sull'esito delle cure in termini sia letali che di durata di degenza, e quindi anche di costi (12); in particolare l'aumento delle infezioni del sangue è la conseguenza di un graduale aumento dei fattori di rischio specifici, in particolare l'uso abbondante di antibiotici e di cateterismi vascolari.

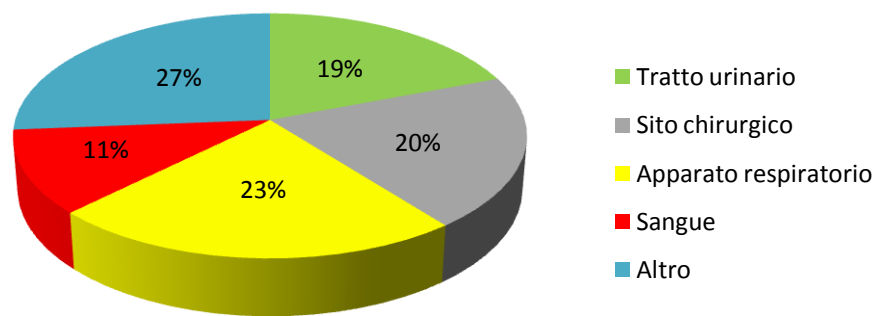


Figura 3 – Prevalenza di ICA in base al tipo e alla relativa frequenza (5)

<sup>2</sup> Batterimia: condizione morbosa caratterizzata dalla presenza transitoria nel sangue di germi patogeni - Enciclopedia Treccani (Treccani.it).

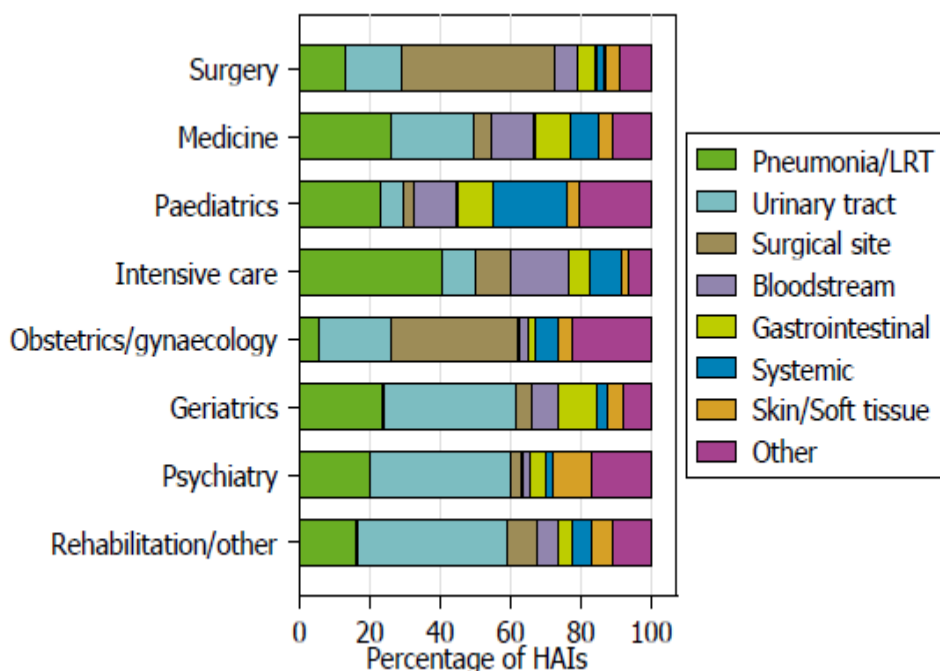


Figura 4 – Distribuzione dei tipi di ICA in ogni reparto (5)

## 1.6. MICROORGANISMI RESPONSABILI

Sono diversi i microrganismi che possono causare infezione, e possono variare in relazione alla popolazione di pazienti, alle tipologie e strutture di assistenza ed ai diversi Paesi (9); la popolazione microbica ospedaliera è generalmente costituita da batteri, virus, parassiti e funghi, presenti sia nell'ambiente che nei pazienti e nel personale sanitario.

Per poter prevenire o curare un'infezione è importante conoscere identità e quantità dei microrganismi presenti in ospedale, creando così relazioni *microrganismo-infezione*.

Circa il 95% delle ICA sono causate da batteri; per la maggior parte non si tratta di patogeni convenzionali, non hanno cioè un grado di virulenza (aggressività) tale da causare l'infezione in un ospite sano, bensì sono patogeni "opportunisti": si tratta di batteri commensali<sup>3</sup>, che possono cagionare infezione nel caso in cui il soggetto sia debilitato e indifeso, come la maggior parte degli ospiti delle strutture assistenziali (9).

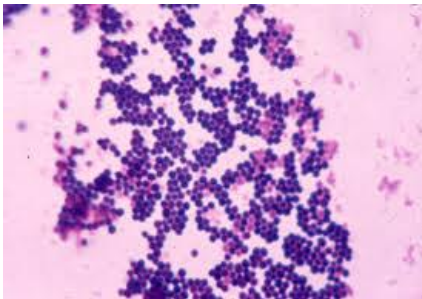
Oltre al grado di virulenza e d'invasività dei microrganismi, che sono caratteristiche intrinseche, il rischio di contagio è direttamente proporzionale alla carica microbica (o dose infettante), cioè il numero di batteri per unità di volume (UFC/m<sup>3</sup>, dove UFC: Unità Formanti Colonie).

<sup>3</sup> Batteri commensali: riscontrabili nella flora batterica della popolazione sana; hanno un potenziale ridotto di patogenicità.

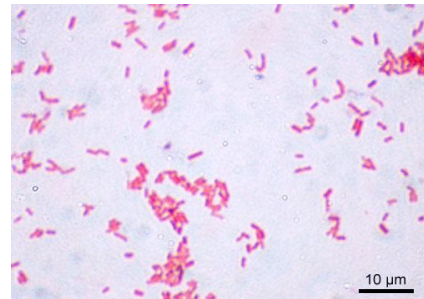
I patogeni nosocomiali riscontrati più frequentemente sono (5):

- *Escherichia coli*: normalmente presente nel tubo digerente dell'uomo, diffuso anche nell'ambiente;
- *Staphylococcus aureus*: diffuso nell'uomo, spesso portatore sano di stafilococchi localizzati sulla cute e a livello di naso e faringe;
- *Pseudomonas aeruginosa*: spesso isolato in acqua e in ambienti umidi, soltanto occasionalmente è presente nell'uomo (faringe, cute, tratto intestinale);
- *Klebsiella spp.*\*: possono facilmente trovarsi nelle vie respiratorie, nell'intestino e nelle vie urogenitali (\**spp.* : plurale di specie);
- *Enterococcus spp.*\*: presenti nel tratto intestinale, ma anche sul suolo e nelle acque di superficie.

Se negli anni '80 le ICA erano dovute principalmente a batteri gram-negativi<sup>4</sup> (per esempio *E.coli* e *Klebsiella*), oggi per effetto della pressione antibiotica e del maggiore utilizzo di presidi sanitari di materiale plastico, sono aumentate le infezioni sostenute da gram-positivi (soprattutto *Enterococchi* e *Stafilococchi*).



*St. aureus* (Gram +)



*E.coli* (Gram -)

Nella seguente tabella si riportano i principali patogeni, ordinati per frequenza d'isolamento in pazienti soggetti a ICA, evidenziandone la prevalenza di tipologie d'infezioni causate (5).

---

<sup>4</sup> Colorazione di Gram: tecnica di laboratorio grazie alla quale è possibile differenziare i batteri in due classi, a seconda delle proprietà della propria parete cellulare (in particolare la rigidità, che dipende dalla quantità di peptidoglicano presente):

Batteri Gram-positivi (Gram +): sono caratterizzati da una parete spessa, ricca di peptidoglicano; assumono colore violetto;

Batteri Gram-negativi (Gram -): lo strato di peptidoglicano è più sottile; risultano colorati di rosa.

	<b>G R A M</b>	<b>ICA tot. %</b>	<b>Polmoni/ basse vie respiratorie</b>	<b>Sito chirurgico</b>	<b>Tratto urinario</b>	<b>Sangue</b>
<i>E. coli</i>	-	<b>15.9</b>	8.8	14.0	36.2	11.0
<i>St. aureus</i>	+	<b>12.3</b>	12.6	17.9	1.8	15.9
<i>Enterococcus</i>	+	<b>9.6</b>	2.2	14.5	12.5	8.2
<i>P.aeruginosa</i>	-	<b>8.9</b>	17.4	7.6	8.4	6.1
<i>Klebsiella</i>	-	<b>8.7</b>	11.4	6.0	12.0	9.8

### 1.6.a. Resistenza agli antibiotici

Uno dei fenomeni più preoccupanti dell'epidemiologia delle infezioni ospedaliere a livello mondiale è rappresentato dalla comparsa di microrganismi con resistenze antibiotiche, e dalla loro rapida disseminazione (11). I batteri infatti hanno la capacità di sviluppare dei meccanismi di difesa verso i farmaci antibiotici, che si attivano generalmente dopo l'esposizione:

- produzione di enzimi inattivanti;
- modifica della struttura del target;
- utilizzo di una via metabolica alternativa a quella inibita;
- riduzione della permeabilità cellulare nei confronti della molecola con azione antibiotica.

L'attivazione di tali meccanismi è l'effetto di mutazioni genetiche del corredo cromosomico batterico, operate dai plasmidi: si tratta di piccoli frammenti di DNA extracromosomico circolari, con capacità autoreplicativa; in essi risiedono i geni contenenti le informazioni dei caratteri ausiliari (non essenziali per la sopravvivenza) della cellula, come appunto quello della resistenza agli antibiotici (plasmide R) (13). Tali geni plasmidici sono spesso contenuti in elementi "mobili" (trasposoni), per poter essere trasferiti al cromosoma batterico della stessa cellula, oppure scambiati tra batteri



differenti. Un esempio importante di antibiotico-resistenza è la meticillina resistenza relativa allo *Staphylococcus aureus*; gli MRSA (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) rappresentano una delle principali cause di infezioni nosocomiali. In Italia la resistenza alla meticillina supera il 38%: si tratta di un'emergenza non trascurabile, poiché è stato stimato che le persone affette da MRSA hanno il 64% di probabilità di morte in più rispetto alle persone che non hanno sviluppato un'infezione resistente ai farmaci (14).

### **1.6.b. Ceppi di reparto**

L'uso continuo e spesso inappropriato degli antibiotici nella prevenzione o nella terapia di ICA ha fatto sì che in ogni reparto si sviluppasse una pressione selettiva dalla quale è potuta emergere e moltiplicarsi una specifica flora batterica, contraddistinta da determinati ceppi, detti appunto “ceppi di reparto”, che in quell'ambiente saturo di sostanze antimicrobiche circolano sotto la protezione del proprio corredo di resistenze. Ormai l'abuso di antibiotici ha fatto sì che la comparsa di resistenze sia diventata più veloce dello sviluppo dei nuovi farmaci, soprattutto nel caso di patogeni resistenti contemporaneamente a più antibiotici (multidrug resistance). Oggi questa problematica è considerata una vera e propria priorità per la sanità pubblica a livello mondiale: l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha sottolineato più volte l'importanza di tale materia ed ha indicato una serie di provvedimenti specifici, volti a contenere il diffondersi della resistenza antimicrobica attraverso un uso prudente degli agenti antibiotici nell'uomo, soprattutto nelle strutture sanitarie, intervenendo in prima battuta sui comportamenti di utilizzo e di prescrizione; inoltre secondo l'OMS un'efficace riduzione del fenomeno non può essere conseguita solo attraverso misure a livello nazionale, ma richiede una strategia comune e un'azione coordinata a livello internazionale; ad oggi però in alcuni Paesi i sistemi di base di controllo sono inefficaci o addirittura inesistenti (14).

## **1.7. RUOLO DEL PARTICOLATO**

Come già accennato nel [paragrafo 1.5.](#), uno dei possibili veicoli di trasporto degli agenti infettivi è costituito dalle polveri sottili aerodisperse, altresì dette “particolato”

(Particulate Matter, PM). Il PM è costituito da una miscela di particelle solide e liquide sospese in aria, con un diametro che va da pochi nanometri fino ai 500 micron e oltre. Gli elementi che concorrono alla formazione di questi aggregati sono numerosi e comprendono fattori sia naturali che antropici, con diversa pericolosità a seconda dei casi.

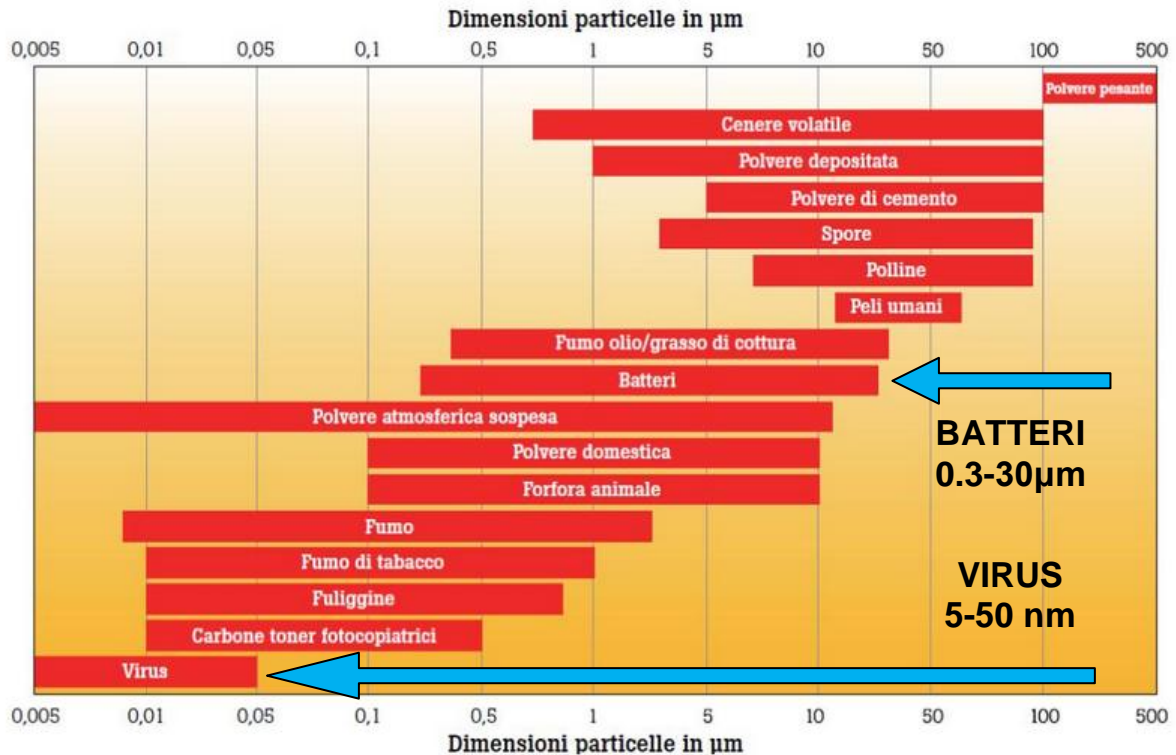


Figura 5 – Costituenti del particolato, con relativi range dimensionali

In relazione al diametro massimo delle particelle costituenti, esistono diverse categorie di particolato:

PM<sub>10</sub> : particolato formato da particelle al di sotto dei 10 µm;

PM<sub>2,5</sub> : particolato fine, compreso tra 0,1 e 2,5 µm;

PM<sub>0,1</sub> : particolato ultrafine, tra 0,01 µm e 0,1 µm;

Nanopolveri: con diametro tra 10 e 100 nm (1 nm=1x10<sup>-3</sup>µm).

Tramite il particolato, soprattutto fine, ultrafine e nanometrico, una vasta gamma di microrganismi potenzialmente dannosi (da batteri patogeni ad opportunisti, fino ai ceppi di reparto e virus) possono rimanere sospesi in aria per lunghi periodi di tempo ed essere trasportati anche per lunghe distanze, riuscendo a sfuggire ai sistemi standard di filtrazione dell'aria.

Ciò nonostante, ad oggi il particolato non è considerato come fattore di rischio diretto nell'incombenza delle ICA; gli unici limiti sulle concentrazioni di particolato in ambito ospedaliero riguardano le sale operatorie, che a seconda del livello di "pulizia" richiesto, sono classificate secondo la normativa<sup>5</sup> ISO14664 per le camere bianche (o "cleanrooms"). L'essenza di tale normativa è la tabella riportata di seguito, che stabilisce i limiti di concentrazione massima [part/m<sup>3</sup>] per particelle maggiori o uguali alle dimensioni indicate, in corrispondenza alle diverse classi di pulizia (15).

Classe di pulizia	0,1 micron	0,2 micron	0,3 micron	0,5 micron	1 micron	5 micron
ISO 1	10	2	-	-	-	-
ISO 2	100	24	10	4	-	-
ISO 3	1000	237	102	35	8	-
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	-
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7	-	-	-	352000	83200	2930
ISO 8	-	-	-	3520000	832000	29300
ISO 9	-	-	-	35200000	8320000	293000

Sulla base di tale normativa, è stato stabilito che la sala operatoria chirurgia di media e bassa complessità deve rispettare lo standard ISO 7, mentre sale operatorie di alta complessità (trapianti, chirurgia ortopedica protesica, cardiocirurgia, neurochirurgia) devono essere ISO 5 (16).

Rif. UNI EN ISO 14644-1	Punto di prelievo
Sale operatorie servite da impianto a flusso unidirezionale misto (sale operatorie con esigenza di sterilità relativa molto elevata es. trapianti, cardiocirurgia, ortopedia, neurochirurgia)	Sotto il flusso unidirezionale: ≤ ISO 5
Sale operatorie servite da impianto a flusso turbolento	≤ ISO 7

Il flusso laminare verticale (vale a dire le modalità con cui si sposta l'aria in sala operatoria), la quantità di volumi di aria cambiata ogni ora nell'ambiente, le condizioni termo-igrometriche, il gradiente pressorio (la sala operatoria deve essere in "sovrapressione" rispetto agli ambienti circostanti) contribuiscono a definire gli standard ISO 5 e ISO 7.

<sup>5</sup> ISO: International Standard Organization, è la più importante organizzazione a livello mondiale per la definizione di norme tecniche.

## 1.8. PREVENZIONE

Purtroppo, non tutte le ICA sono prevenibili. Oggi l'idea comune del mondo sanitario è che buona parte di quelle prevenibili siano attribuibili a problemi nella qualità dell'assistenza: il lavaggio delle mani, il rispetto dell'asepsi<sup>6</sup> nelle procedure invasive, la disinfezione e la sterilizzazione dei presidi sanitari; a tal proposito si pensa che l'adozione di pratiche assistenziali considerate "sicure", è, da sola, in grado di prevenire o controllare la trasmissione di infezioni, con una riduzione di almeno il 30% della frequenza di queste complicanze (17).

Per quanto riguarda invece la contaminazione microbica dell'ambiente (aria e superfici), ad oggi non viene considerato come fattore diretto e determinante del rischio di trasmissione e insorgenza di infezioni ospedaliere, nonostante esistano studi che hanno evidenziato la progressiva diminuzione di ICA riducendo il livello di contaminazione dell'aria<sup>7</sup>. Ciò probabilmente è dovuto al fatto che finora nessuna tecnologia è stata in grado di intervenire in maniera adeguata sulla decontaminazione microbica di aria e superfici.

Certo è che i dati riguardanti le ICA sono allarmanti e mandano un chiaro segnale sull'insufficienza delle misure preventive adottate finora; inoltre il monito lanciato dall'OMS riguardo alla perdita d'efficacia delle terapie antibiotiche, insieme con la continua comparsa di ceppi di reparto resistenti, impongono di ricercare nuove armi nella lotta alle infezioni.

Oltre all'applicazione di protocolli mirati al corretto svolgimento delle pratiche assistenziali da parte degli operatori sanitari, la soluzione potrebbe essere intervenire sul disinquinamento in continuo dell'aria indoor degli ambienti ospedalieri e delle superfici a contatto diretto con il paziente.

---

<sup>6</sup> Pratica, introdotta da J. Lister nel 1865, volta a ridurre o eliminare la presenza di agenti contaminanti (batteri, virus, funghi, parassiti) che possono causare infezioni durante le procedure medico-chirurgiche. Si avvale dell'uso di strumenti sterilizzati con diverse tecniche (vapore, calore secco, raggi UV) - Enciclopedia Treccani (Treccani.it).

<sup>7</sup> Whyte, Hodgons, Tinker, "The importance of airborne bacterial contamination of wounds", Journal of hospital infection 3, 1982;  
Lidwell et al. "Airborne bacteria and surgical infection", Am.J: Medicine 70, 1981;  
Lidwell, Whyte et al. "Airborne contamination of wounds in joint replacement operation: the relationship to sepsi rate", Journal of hospital infection 4, 1983.

## **Capitolo 2 - D.A.TECH. E LA TECNOLOGIA NANO-SAFE KOALA**

Per D.A.TECH un significativo abbattimento del rischio infettivo può essere raggiunto grazie all'applicazione in ambito ospedaliero della tecnologia brevettata dall'azienda stessa, la “Tecnologia Nano-Safe Koala®”.

### **2.1. L'AZIENDA D.A.TECH.**

D.A.TECH (Depollution Air Technology) è una società specializzata nel disinquinamento dell'aria indoor; per “Inquinamento dell'Aria Indoor (IAI)” si intende la presenza, nell'aria all'interno di ambienti confinati, di composti chimici, fisici e biologici non presenti naturalmente nell'aria di sistemi ecologici di elevata qualità (18). Il risultato di oltre 20 anni di ricerca ed esperienze specifiche in questo campo è stato lo sviluppo della “Tecnologia Nano-Safe Koala®”: si tratta di una tecnologia innovativa a livello mondiale, in grado di disinquinare l'aria degli ambienti confinati con sistemi filtranti specifici per i diversi stati fisici dei vari inquinanti:

- Solido: 2 categorie in base alla granulometria:
  - Polveri (> 2,5 micron): costituiscono il 3% dell'IAI;
  - Particolato PM<sub>2,5</sub> (≤ 2.5 micron): costituiscono il 97% dell'IAI;
- Gassoso;
- Microbiologico: batteri, virus, spore, muffe, funghi.

La mission dell'azienda è preservare la qualità dell'aria degli ambienti in cui le persone trascorrono la maggior parte del tempo (abitazioni, luoghi di lavoro, ospedali, scuole ecc.): grazie ai continui investimenti in ricerca e sviluppo, D.A.TECH. intende fornire soluzioni di prevenzione attiva per tutelare la salute dell'uomo dai danni causati dall'inquinamento dell'aria.

## 2.2. LA TECNOLOGIA NANO-SAFE KOALA

La “Tecnologia Nano-Safe Koala” è realizzata con un sistema multiplo di filtrazione, composto di elementi in serie, ognuno dei quali è stato progettato ad hoc per l’abbattimento di una particolare tipologia di inquinante:

- filtro meccanico: trattiene polveri con granulometria superiore a 200 µm;
- filtro a microfibra: raccoglie particolato a granulometria micrometrica;
- filtro a carboni attivi: mix di carboni attivi opportunamente drogati, permette l’adsorbimento di oltre 100 tipi di gas tossici (cloruri, SO<sub>2</sub>, ammoniaca, formaldeide, radon, ecc.);
- filtro BEMAC (Biologico E Molecolare Attivo Continuo): è in grado di fermare qualsiasi tipo di particella, anche radioattiva, dell’ordine dei nanometri, e di inattivare qualunque tipo di microrganismo (batteri, virus, muffe, funghi).
- Sistema di ionizzazione: associa all’aria in uscita, ormai disinquinata, una significativa quantità di ioni negativi.

Tale tecnologia può essere applicata a diversi settori, e può assumere diverse forme a seconda dello scopo o dell’ambiente da disinquinare.



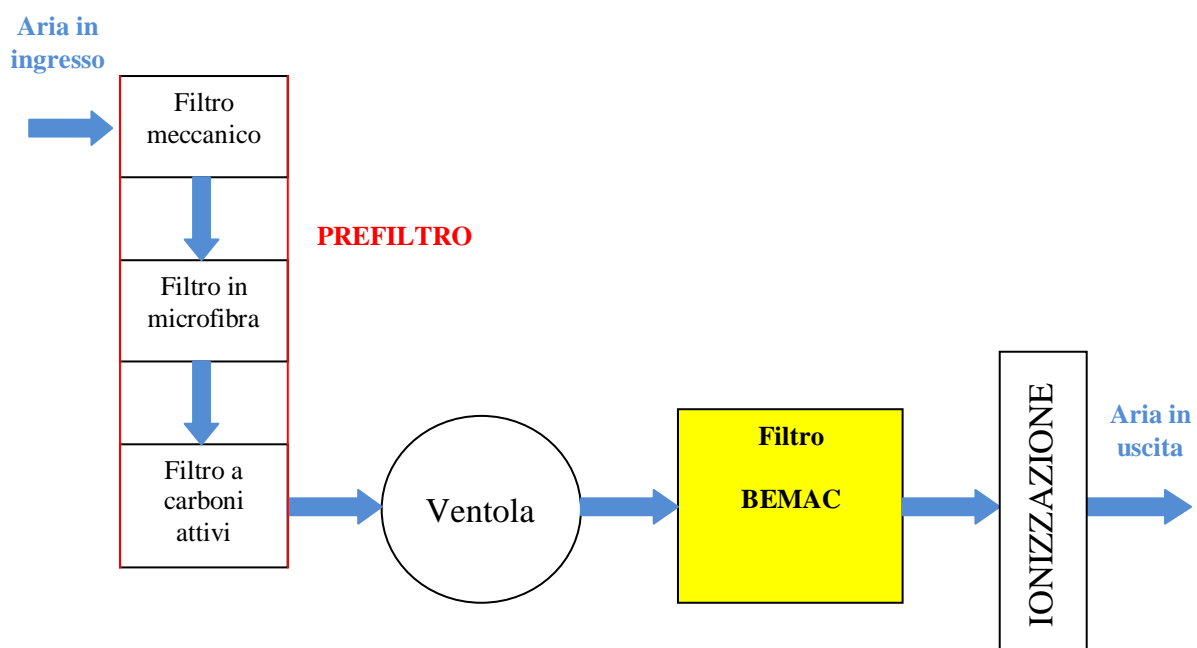
Figura 6 – Esempi di adattabilità della tecnologia Koala a diversi settori

Da qui in poi si parlerà di “Koala” anziché di “Tecnologia Nano-Safe Koala”, poiché si farà riferimento al prodotto di punta dell’azienda, ovvero il disinquinatore Koala per ambienti indoor, realizzato con tale tecnologia (scheda tecnica in [Appendice 1](#)).



Figura 7 – Disinquinatore Koala  
 Sopra: fronte  
 Sotto: retro

### 2.3. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO





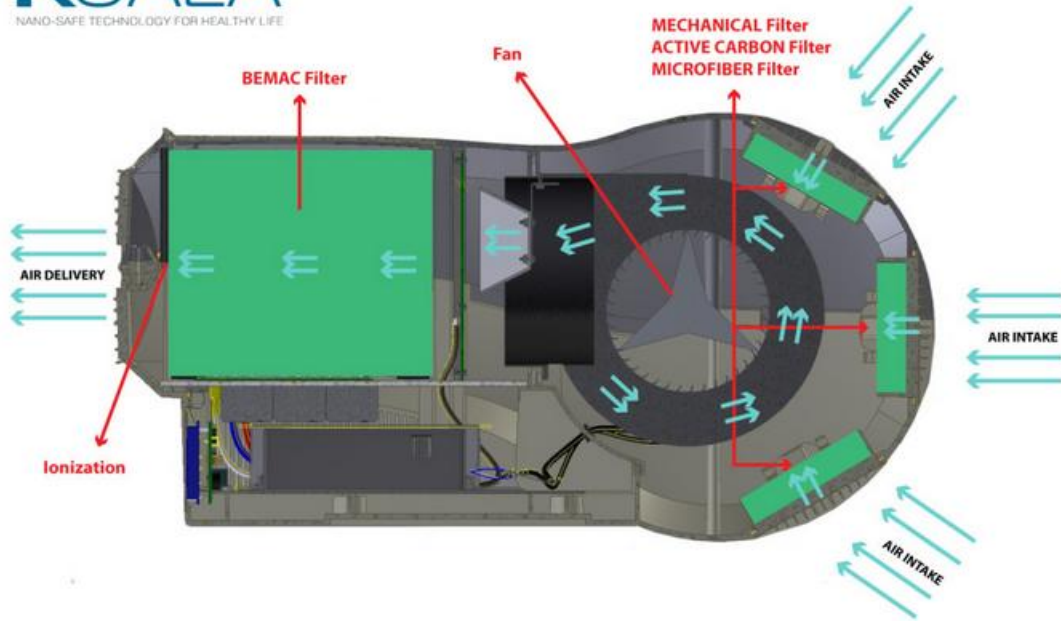


Figura 8 – Schema dei componenti e del flusso d'aria all'interno del Koala

L'aria entra dal retro del Koala grazie alla depressione generata da una ventola centrifuga, posta sulla parte posteriore della macchina; la velocità è impostabile su 7 diversi livelli, a seconda della portata d'aria desiderata.

<b>Livello velocità Ventola</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/h)</b>
1	30
2	50
3	70
4	90
5	130
6	170
7	200

Da ognuna delle tre bocchette d'ingresso attraversa un sistema di pre-filtrazione, o "prefiltro", composto da 3 filtri in sequenza:

- 1) Filtro meccanico, in grado di trattenere polveri ad alta granulometria ( $\geq 200 \mu\text{m}$ );
- 2) Filtro in microfibra, che ferma il particolato micrometrico ( $100 - 200 \mu\text{m}$ );



- 3) Filtro a carboni attivi: contiene miscele di carboni di natura diversa che consentono di assorbire oltre 100 tipi di gas tossici (cloruri, SO<sub>2</sub>, ammoniaca, formaldeide, radon, ecc..) in continuo.

L'aria che arriva nella camera della ventola è quindi già privata del particolato meno fine (al di sopra dei 100 µm) e dei gas aerodispersi.

A questo punto la ventola spinge l'aria verso il filtro BEMAC, cuore della tecnologia Koala; il procedimento di filtraggio del BEMAC consiste in 3 fasi:

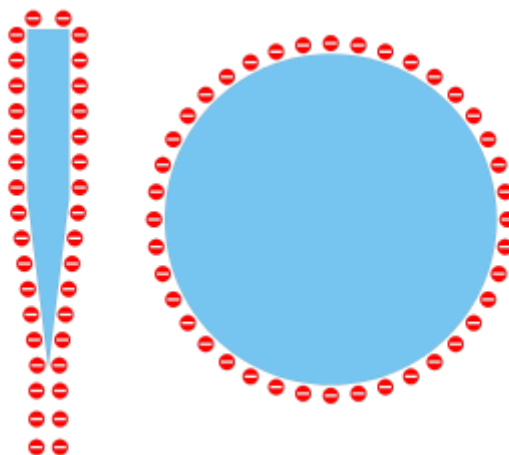
- 1) l'aria viene bombardata di elettroni, emessi da una piastra conduttrice alimentata ad alta tensione, che non occlude il passaggio;
- 2) l'aria ionizzata passa attraverso delle condotte, nelle quali è presente un campo elettrico che spinge le particelle caricate negativamente verso delle piastre di raccolta, su cui sono intrappolate dalla forza elettrostatica;
- 3) le particelle ormai immobilizzate vengono irraggiate da lampade UV: in questo modo qualunque tipo di microrganismo (batteri, virus, muffe, funghi) intrappolato sulle piastre viene inattivato (19). Poiché la dose di UV necessaria per disattivare i microrganismi è proporzionale al tempo di esposizione ed all'intensità della sorgente luminosa, in questo sistema il tempo di esposizione può essere lungo a piacere (grazie alla trappola elettrostatica) e perciò l'inattivazione è ottenibile con raggi UV a bassa intensità, evitando così il rischio di produzione di Ozono (potente immunodepressore, che si formerebbe nel caso di potenze più alte).

L'aria ormai disinquinata in uscita dal BEMAC subisce infine un altro trattamento di ionizzazione negativa, per ristabilire l'equilibrio ionico.

### **2.3.a. Ionizzazione negativa dell'aria**

L'arricchimento di ioni negativi del flusso d'aria all'entrata del filtro BEMAC è quindi il fenomeno fisico alla base del suo funzionamento.

Tale effetto è realizzato applicando alta tensione (nell'ordine dei kV, dato sensibile) a degli emettitori di elettroni, che non sono altro che piccole punte conduttrici; in questo modo si sfrutta un fenomeno elettromagnetico detto "effetto punta", per il quale il campo elettrico è più intenso in prossimità delle zone in cui la superficie del conduttore presenta un raggio di curvatura minore.



**Figura 9 – Distribuzione degli elettroni al variare della superficie conduttrice**

Questo perchè la densità di carica superficiale, che è direttamente proporzionale al campo elettrico, è inversamente proporzionale al raggio di curvatura; ciò significa che gli elettroni disposti sulla superficie della punta conduttrice si trovano ad essere molto vicini tra loro, ed ognuno risente della forza repulsiva degli altri, che aumenta al diminuire della distanza. Questa forza repulsiva favorisce il distacco degli elettroni dall'emettitore, al momento del passaggio dell'aria.

#### **2.4. VALIDAZIONI STRUMENTALI**

La tecnologia Koala è stata validata strumentalmente in molte Università<sup>8</sup> e Centri di Ricerca in Italia e all'estero.

I test effettuati hanno dimostrato l'efficacia del Koala nell'abbattimento dell'IAI in tutte le sue forme:

- Solido;
- Gassoso;
- Microbiologico.

Sono riportati di seguito 2 test a titolo esemplificativo.

---

<sup>8</sup> Tra cui l'Università di Bologna; oggetto: Monitoraggio del disinquinamento biologico in un reparto di odontoiatria, presso l'Istituto di Clinica Odontoiatrica e Facoltà di Igiene II

## 1) TEST SUL PARTICOLATO ULTRAFINE

Al fine di valutare l'efficienza dei disinquinatori Koala nell'abbattimento del particolato di granulometria ultrafine sono stati condotti dei test presso il CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) - Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", di Sesto Fiorentino (Firenze). Tali prove consistevano nel monitoraggio, mediante DMA<sup>9</sup>, dei livelli di abbattimento di particolato ultrafine (10 – 20 – 50 – 100 – 300 nm) in una stanza di circa 50m<sup>3</sup>, in cui sono stati installati 2 disinquinatori Koala; in ogni prova si è inoltre valutato il contributo di alcuni parametri variabili (apertura momentanea della finestra, consumo di sigarette all'interno della stanza chiusa, n° di Koala utilizzati e velocità impostata).

In tutte le prove il Koala ha dimostrato di essere efficace nell'abbattimento di granulometria ultrafine delle dimensioni considerate (10 – 500 nm), con valori di abbattimento che superano ampiamente il 90% in tutto il range granulometrico analizzato nella maggior parte degli eventi studiati<sup>10</sup>.

### Esempio: Test "CONSUMO 2 SIGARETTE"

#### Parametri:

- N° Koala: 1; velocità: 5;
- Finestra: chiusa;
- Condizioni iniziali: consumo 2 sigarette.

#### Risultati:

Diametro	Concentrazione (ore 13:05) [part/l]	Concentrazione (ore 15:05) [part/l]	Abbattimento
10 nm	$1.78 \times 10^7$	$1.07 \times 10^6$	94%
20 nm	$1.80 \times 10^7$	$8.70 \times 10^5$	95%
50 nm	$1.50 \times 10^8$	$2.80 \times 10^5$	99.8%
100nm	$2.14 \times 10^8$	$1.86 \times 10^5$	99.9%
300nm	$1.90 \times 10^7$	$1.20 \times 10^4$	99.9%
500nm	$5.26 \times 10^5$	$2.00 \times 10^3$	99.6%

<sup>9</sup> Differential Mobility Analyzer: strumento elettrostatico per la misurazione dell'aerosol da 10nm a 700nm; i dati forniti sono espressi come distribuzione logaritmica della concentrazione, ovvero  $C = dN/d\log_{10}D$  (C: concentrazione [part/l]; D: diametro [μm]; N: numero di particelle al metro cubo [part/m<sup>3</sup>]).

<sup>10</sup> La stanza di test manteneva un background minimo di aerosol non eliminabile in tempo di filtraggio dell'ordine di alcune ore, probabilmente ascrivibile a deboli apporti d'aria esterna

## 2) TEST SULL'INQUINAMENTO GASSOSO E MICROBIOLOGICO

Le prove eseguite al Policlinico “San Matteo” di Pavia erano volte a valutare l'efficienza del Koala nell'abbattimento degli inquinanti sia gassosi che microbiologici dispersi nell'aria delle diverse stanze esaminate (in ognuna sono stati installati 2 Koala).

Per i rilevamenti di microbiologico è stato utilizzato un campionatore SAS ([paragrafo 4.1.c.](#)), con piastre di Petri Contact, su terreni di coltura Standard Plate Count Agar (APHA) e Sabouraud; per i rilevamenti gassosi invece è stata effettuata spettrometria di gas-massa e monitor a infrarossi Bruel-Kjaer 1302<sup>11</sup>.

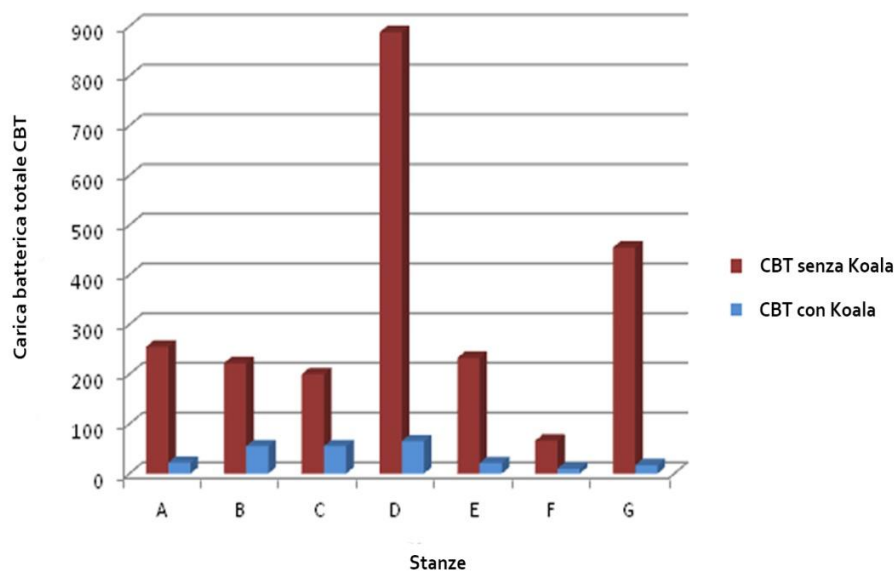
### Risultati:

- Abbattimento carica batterica (1 Koala acceso): l'abbattimento della CBT (Carica Batterica Totale) è risultato mediamente superiore al 90%; il disinquinamento dell'aria diviene rilevante dopo almeno 3 ore di funzionamento e continua ad aumentare nel tempo fino a stabilizzarsi ad un valore di equilibrio, che dipende tra l'altro dai ricambi d'aria della sala, dal numero di persone presenti, dal livello di pulizia dell'aria in ingresso. In buona sostanza, si può affermare che il grado di abbattimento della CBT non è un valore assoluto, ma è funzione dell'equilibrio che si instaura tra il processo di ricontaminazione e la rimozione effettuata dall'apparecchio. Non si è rilevata presenza di germi attivi nel flusso d'aria in uscita dalla macchina.

---

<sup>11</sup> Analizzatore ad infrarossi che consente la valutazione delle concentrazioni degli anestetici in aria con il metodo dei prelievi consecutivi di breve durata (30 secondi ogni 2 minuti e mezzo).

## Abbattimento Carica Batterica

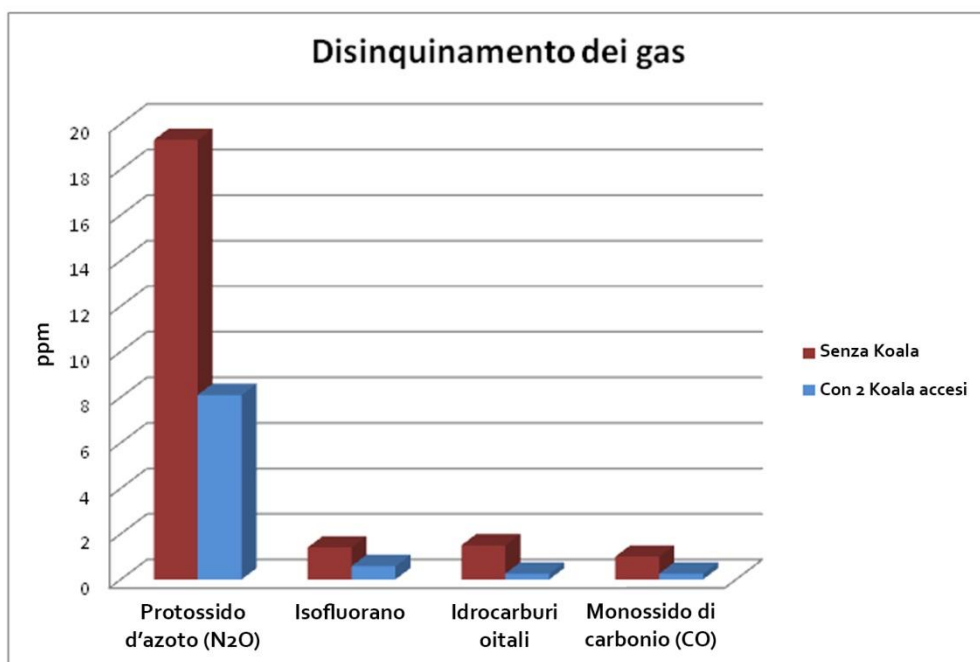


**Figura 10 – Disinquinamento microbiologico in diversi ambienti ospedalieri del Policlinico S. Matteo; i valori di CBT sono espressi in UFC/m<sup>3</sup>**

### Legenda:

- A Sala A Cardiochirurgia, tavolo operatorio
- B Sala A Cardiochirurgia, angolo sx
- C Sala D Cardiochirurgia, area chirurgo
- D Sala Oculistica, tavolo operatorio
- E Reparto Ematologia, camera n°1
- F Reparto Ematologia, atrio
- G Reparto Patologia Neonatale ICU n°2

- Abbattimento inquinanti gassosi (2 Koala accesi): in sala operatoria cardiocirurgia sono stati identificate, mediante spettrometria di massa, circa trenta sostanze organiche gassose, con netta prevalenza dei composti anestetici volatili (come Protossido d'azoto e Isoflurano), ma anche inquinanti tipici dell'aria di città (come idrocarburi e monossido di carbonio); l'azione dei Koala ha evidenziato in media un abbattimento della concentrazione ambientale degli anestetici pari al 60% circa, mentre abbattimenti di 75% e di oltre l'80% si sono registrati rispettivamente per monossido di carbonio e idrocarburi totali.



**58%**      **58,6%**      **83,3%**      **75,5%**      **Percentuali d'abbattimento**

**Figura 11 – Abbattimento degli inquinanti gassosi in sala operatoria; la concentrazione gassosa è espressa in ppm (parti per milione).**

## Capitolo 3 - PROTOTIPO DI CAPPА DISINQUINANTE

L'applicazione della tecnologia Koala per gli ambienti ospedalieri ideata da D.A.TECH consiste in una cappa, da installare al di sopra del posto letto, al fine di fornire al paziente un flusso d'aria continuo, privo di inquinanti (solidi, gassosi e microbiologici) e ricco di ioni negativi. Di seguito sono presentati il principio di funzionamento e le fasi di progettazione e realizzazione del prototipo.

### 3.1. UN PROGETTO INNOVATIVO

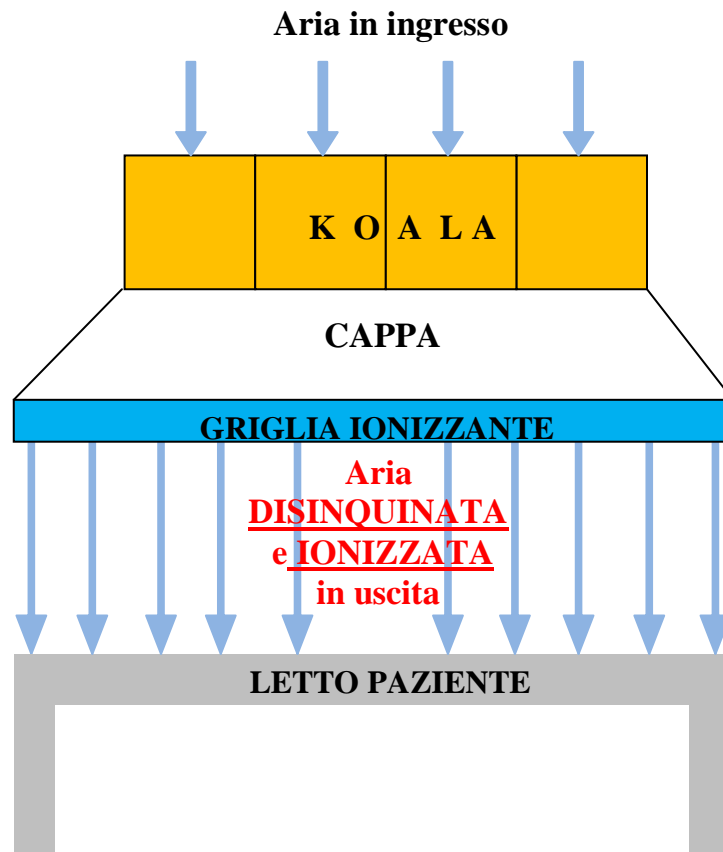
L'idea è stata quella di realizzare un dispositivo capace di aspirare l'aria dall'ambiente in cui è installato, operare una filtrazione disinquinante mediante tecnologia Koala ed emettere quest'aria purificata in verticale verso il basso, facendola fluire attraverso una griglia ionizzante; mediante questa griglia si vuole ottenere, sull'aria in uscita dalla cappa, l'amplificazione dell'effetto di emissione ionica già descritto per il filtro BEMAC ([paragrafo 2.3.](#)), grazie ad una superficie ionizzante di circa 40 volte più grande. Questo perché in letteratura esistono diversi studi che attestano la diminuzione della concentrazione batterica sulle superfici colpite da aria ionizzata negativamente, anche se i meccanismi battericidi non sono ancora stati chiariti (20).

Perciò quello che si vuole ottenere è un flusso d'aria disinquinata e ionizzata negativamente, con potere battericida sulle superfici, che fluisca dall'alto verso il paziente allettato; per farlo occorre dotare la cappa di tecnologia Koala in ingresso e di griglia ionizzante in uscita.

Riguardo alla tecnologia Koala, per un ipotetico prodotto finale sarebbe necessaria una progettazione ad hoc per l'adattamento alle dimensioni della cappa e alla portata di flusso necessaria; per questo primo prototipo invece si è ritenuto più conveniente utilizzare la tecnologia già disponibile, ovvero disporre 4 disinquinatori Koala in parallelo, fissati in verticale sulla parte superiore della cappa e con l'uscita rivolta verso il basso, in modo tale da prelevare l'aria dall'ambiente e distribuirla all'interno della cappa stessa.

Per quanto riguarda la ionizzazione invece, la si vuole ottenere sfruttando i fenomeni elettromagnetici descritti precedentemente ([paragrafo 2.3.a.](#)), creando una griglia all'uscita della cappa che sia ricca di piccole punte conduttrici: applicando alta tensione,

è possibile sfruttare l'”effetto punta” per ionizzare negativamente l'aria che fluisce attraverso di essa; i fori sulla superficie hanno il compito di accelerare l'aria che si trova all'interno della cappa verso le punte conduttrici, favorendo il distacco degli ioni.



### 3.1. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

Il progetto preliminare è stato realizzato interamente in CAD (Autodesk Inventor).



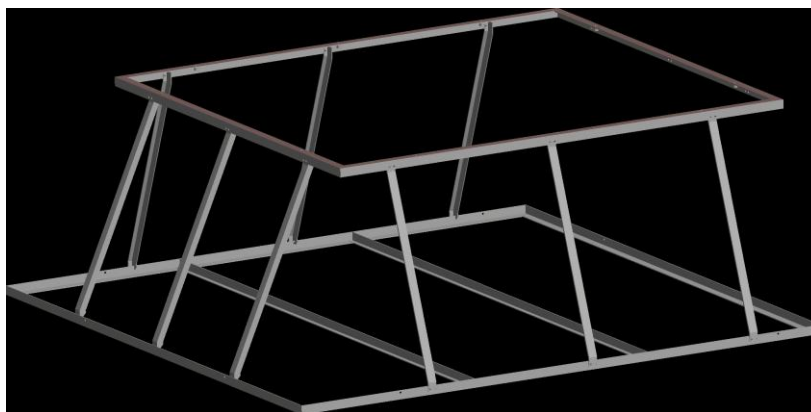


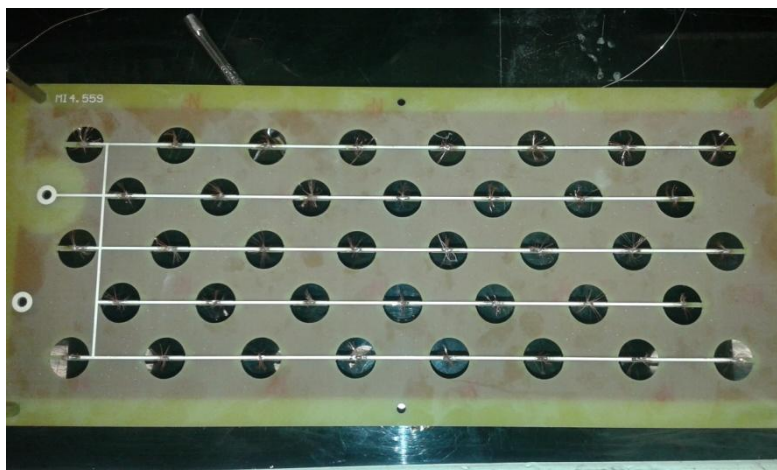
Figura 12 – Scheletro di mezza cappa

<b>DIMENSIONI STRUTTURA CAPP</b>	<b>cm</b>
Superficie superiore	220,6 x 97,2
Superficie inferiore	258,8 x 129,9
Altezza	48

Scelta dei materiali:

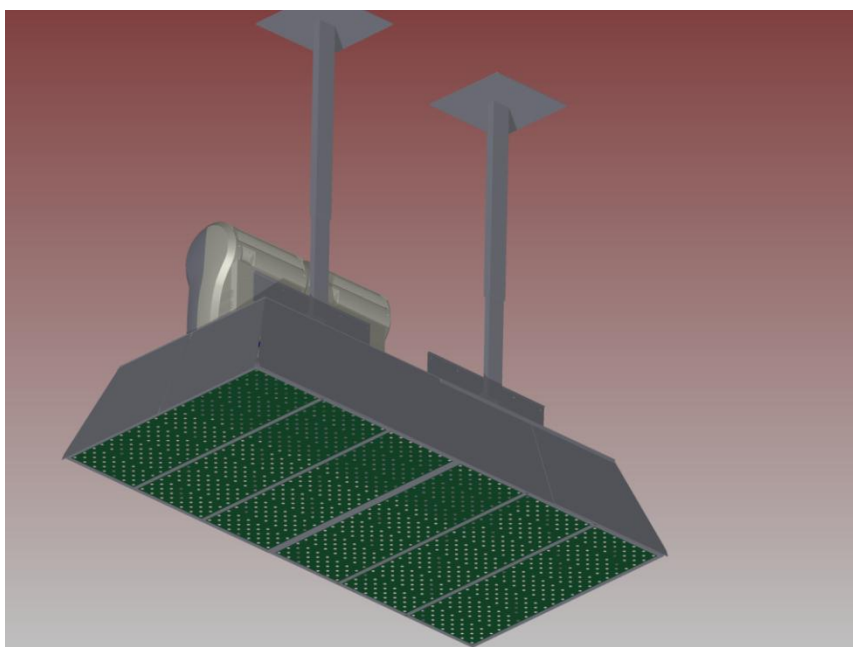
- scheletro in lamiera decapata (profili standard a “L” e a “T”);
- superficie superiore in legno, con contorni in lamiera, sia esterni che interni, per gli alloggiamenti dei Koala;
- pannelli laterali in Forex<sup>12</sup>(spessore: 2,5 cm), per non gravare sulla struttura con troppo peso, ma al contempo garantire la creazione di un ambiente a tenuta stagna all’interno della cappa;
- griglia in uscita formata da 42 piastre forate, in materiale isolante, percorse da piste conduttrici, con appositi spazi per la saldatura delle punte metalliche ionizzanti.

<sup>12</sup> Forex: materiale plastico costituito da PVC espanso o semi-espanso di colore bianco, facile da sagomare, leggero, comodo per essere traforato, tagliato o fustellato, resistente agli agenti atmosferici e ai raggi ultravioletti e molto stabile anche nel grande formato.



**Figura 13 – Piastra ionizzante**

A garantire la sospensione di tutta la struttura provvedono 2 zanche, ognuna fissata a soffitto con 8 ancoranti metallici: ciò garantisce una resistenza alla trazione di circa 15 tonnellate (152 kN; carico ammissibile a trazione su calcestruzzo fessurato per ogni ancorante: 9,5 kN), che è molto più di quanto stimato per il peso dell'intera struttura, di circa 200kg (1,96 kN) ; i 4 Koala vanno fissati a loro volta alle 2 zanche (2 Koala per ognuna), e intorno ad essi va a formarsi la struttura della cappa. Le piastre forate devono essere disposte sugli appositi spazi (6 file da 7), a formare la superficie inferiore.



**Figura 14 – Progetto cappa dal basso**

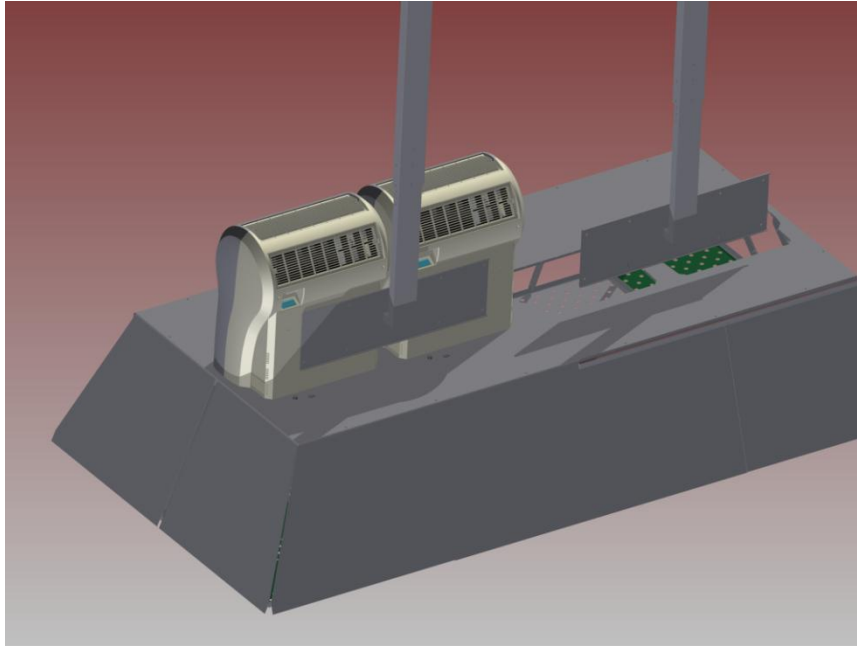


Figura 15 – Progetto cappa dall’alto (mancano i 2 Koala di destra)

Per la scelta dell’altezza più opportuna per la cappa ci si è serviti di simulazioni fluidodinamiche (ANSYS Fluent), con un modello approssimato di 1/4 di cappa, con un ingresso di flusso semplificato al fine di rendere la simulazione più snella; quello che interessava infatti non era la distribuzione del flusso d’aria sulla superficie sottostante, bensì la variazione di quantità di flusso in funzione dell’altezza, che hanno portato a ridurre quest’ultima di 10 cm rispetto al primo tentativo (altezza di primo tentativo: 58cm; dopo la simulazione corretta a 48cm).

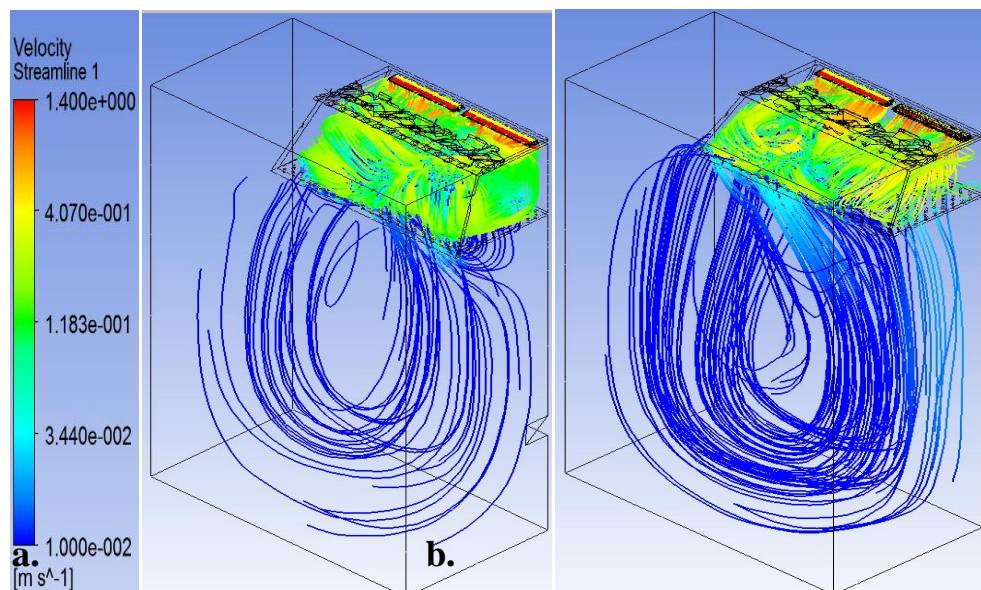
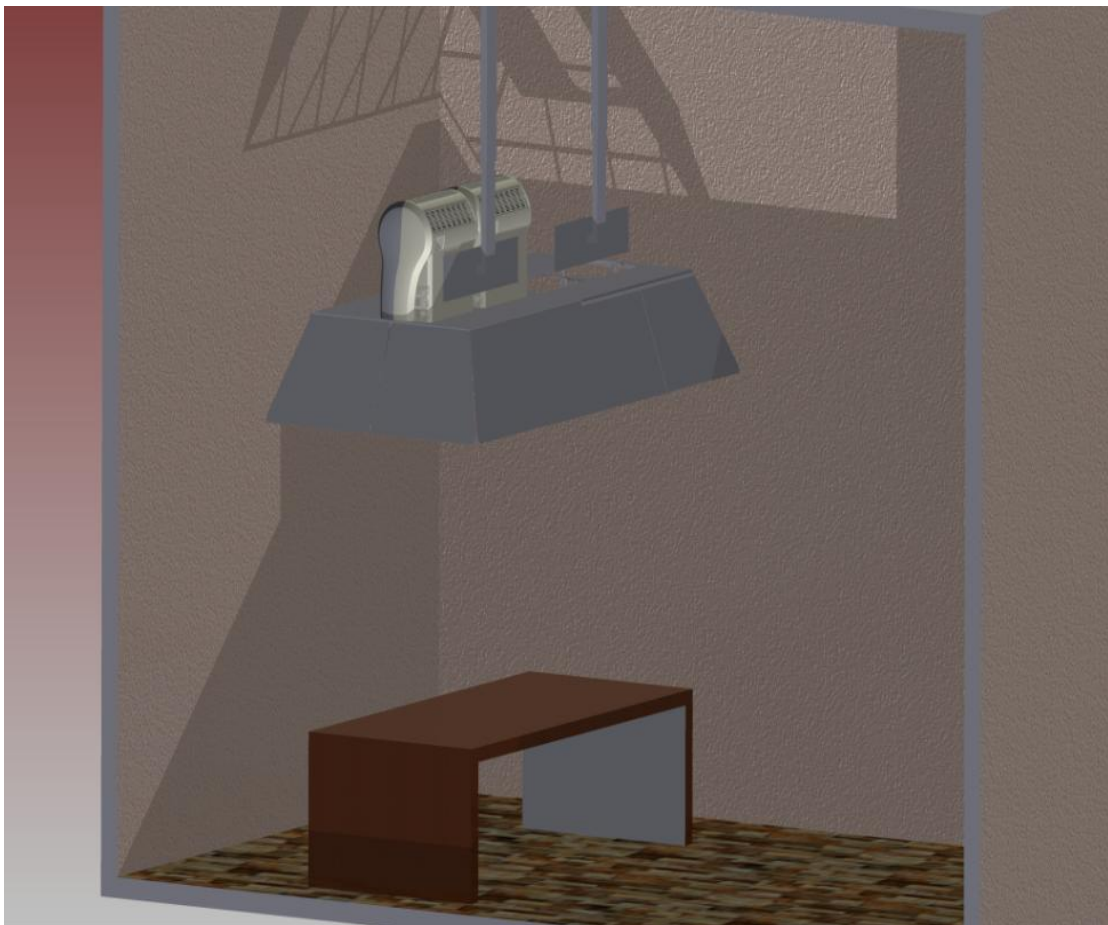


Figura 16 – Simulazioni di flusso al variare dell’altezza della cappa; a. 58 cm; b. 48 cm.

Prima di procedere con la costruzione della cappa si è dovuto provvedere a rendere idoneo l'ambiente scelto per l'installazione, ovvero una stanza all'interno dell'azienda precedentemente adibita ad ufficio (Volume  $\approx 4.3 \times 5.2 \times 3 \text{ m} \approx 67 \text{ m}^3$ ); principalmente si è cercato di eliminare, per quanto possibile, le perdite d'aria con gli ambienti circostanti, in vista delle successive sperimentazioni.



**Figura 17 – Progetto cappa e ambiente**

A questo punto si è passati alla realizzazione della cappa.



**Figura 18 – Fasi di costruzione della cappa**

## Capitolo 4 - SPERIMENTAZIONI

Una volta costruita la cappa, sono stati eseguiti test di varie tipologie, per verificarne il funzionamento e l'efficienza, utilizzando strumenti di misura specifici per l'analisi dell'aria indoor, e test biologici per l'analisi delle superfici. Poiché l'azione disinquinante è affidata ai 4 Koala in parallelo, sono stati fatti anche test preliminari su un singolo dispositivo Koala, per dimostrarne sperimentalmente le potenzialità già descritte nel capitolo 2.

### 4.1. STRUMENTI DI MISURA

Per misurare i livelli e le tipologie d'inquinamento dell'aria indoor sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- Particle Scan Pro (PSP - Contatore Laser di particelle aerodisperse), che misura la quantità di particolato micrometrico ( $\geq 0,3 \mu\text{m}$ );
- Condensation Particle Counter 3007 (CPC - Contatore di particelle a condensazione), che misura la quantità di particolato nanometrico ( $\geq 10 \text{ nm}$ );
- SAS Super ISO 100 Unit (Surface Air System - Campionatore microbiologico d'aria), che misura la quantità di microbiologico;
- Air Ion Counter AlphaLab Inc. (AIC - Contatore di ioni in aria): misura la quantità di ioni positivi o negativi.

Per ognuno è descritto il principio di funzionamento.



#### 4.1.a. Contatore laser di particelle aerodisperse (PSP)



Figura 19 – Particle Scan Pro

Il ParticleScan Pro è un avanzato contatore laser di particelle aerodisperse, a 6 canali, con una gamma di dimensioni di rilevamento da 0,3 a 30 micron. Con la sua velocità di flusso di 0.042 m<sup>3</sup>/h è particolarmente adatto alla misurazione delle concentrazioni di particelle trasportate dall'aria in ambienti esterni e interni, normali e inquinati.

Il principio di funzionamento è quello tipico dei contatori di particelle, basato cioè sul “light scattering”: quando una particella passa attraverso un fascio luminoso, essa riflette un impulso di luce sul detector, che lo converte in un segnale elettrico.

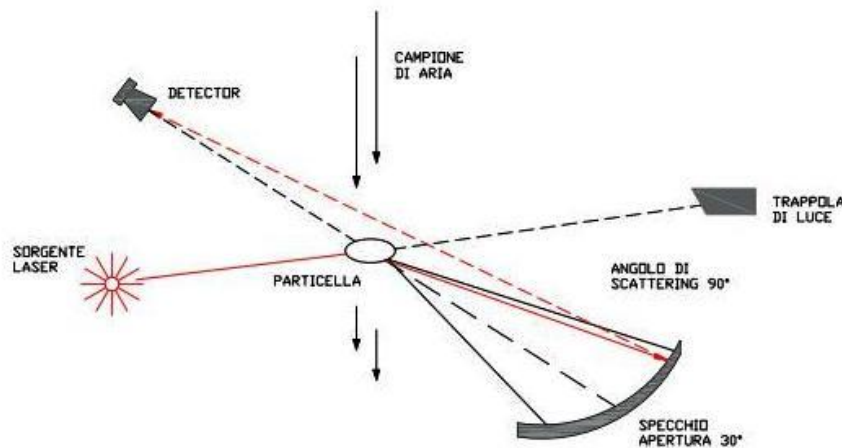


Figura 20 – Principio di funzionamento del PSP

L'altezza dell'impulso elettronico è proporzionale al numero di particelle, ed il segnale incrementa un contatore, specifico del canale dimensionale, ove sono accumulati il numero totale di conteggi, relativi a quella dimensione. La distribuzione dimensionale delle particelle, come conteggio, è ottenuta dai conteggi accumulati nei singoli canali dimensionali.

Il detector è posto a 90° rispetto alla direzione del fascio laser incidente, ottenendo così alcuni vantaggi:

- l'indice di rifrazione diventa meno importante;
- viene annullato l'effetto della luce incidente;
- il rumore di fondo risulta minore;
- la disposizione meccanica del banco ottico risulta semplificata.

I risultati vengono quindi visualizzati digitalmente per il canale specifico e l'unità di concentrazione impostato.

#### **4.1.b. Contatore di particelle a condensazione (CPC)**



**Figura 21 - Condensation Particle Counter 3007**

Un contatore di particelle a condensazione o CPC è uno strumento che rileva e conta particelle di aerosol fino a una dimensione minima di 10 nm. Lo strumento consiste macroscopicamente in una cartuccia contenente alcol isopropilico, un saturatore, un condensatore ed un fotorivelatore.

Il principio alla base dello strumento è quello di ingrandire le particelle, formando delle goccioline mediante condensazione di aerosol intorno alle particelle di particolato ultrafine, le quali vengono poi rivelate e quantificate, grazie al contatore ottico.

Il blocco di materiale poroso, contenente il liquido di lavoro (alcol isopropilico), viene portato a 37°C per permetterne l'evaporazione. L'aria viene fatta passare attraverso il blocco, formando un aerosol, e successivamente nel dispositivo di raffreddamento (10°C), all'interno del quale avviene la nucleazione delle particelle di particolato



ultrafine (nuclei di condensazione). I diametri si ingrandiscono anche di 100-1000 volte in modo tale che la particella originale ne costituisce soltanto una minuscola frazione; a questo punto le goccioline vengono rilevate con una tecnica ottica di dispersione della luce, mediante emissione di un fascio laser ed un foto-rilevatore. E' con questo meccanismo che il CPC dà un conteggio di tutte le particelle con diametro nominale superiore a  $0.01 \mu\text{m}$  ( $= 10 \text{ nm}$ ).

Il contatore ha un range di misurazione da 0 a 100.000 particelle per  $\text{cm}^3$ .

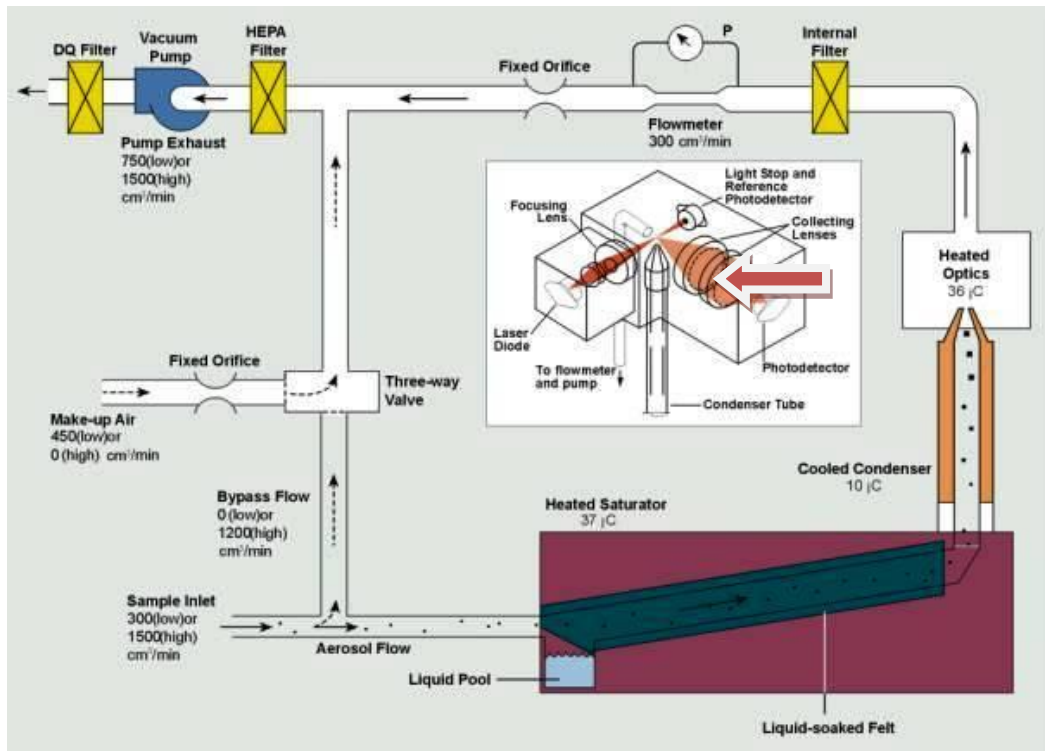


Figura 22 - Schema esplicativo del funzionamento del contatore CPC

Per la conformazione del canale e del pozzetto dove è raccolto l'alcool isopropilico, lo strumento è estremamente delicato e suscettibile a qualsiasi inclinazione di tilt rispetto all'orizzontale: per questa ragione la misura è da effettuarsi sempre in piano e mai in movimento, per evitare che l'alcool fluisca liquido nella parte di lettura ottica.

L'alcool isopropilico viene inserito grazie a un'apposita cartuccia dotata di contenitore e tappo sigillante che deve essere utilizzata solamente quando si effettua la misura e inserita nel contatore.



**Figura 23 – a. Cartuccia di alcool isopropilico con apposito contenitore e ricarica; b. inserimento della cartuccia nel CPC.**

#### **4.1.c. Campionatore microbiologico d'aria (SAS)**



**Figura 24 - SAS Super ISO 100 Unit**

Il dispositivo SAS Super ISO 180 permette di effettuare un campionamento di tipo microbiologico dell'aria, con la tecnica del Surface Air System (SAS). Questo sistema aspira un quantitativo di aria definito, a velocità costante (180 litri/minuto), attraverso una testata forata e la convoglia su di una Piastra di Petri<sup>13</sup>, contenente terreno ad

<sup>13</sup> La piastra di Petri è un'importante strumento di lavoro in biologia, per la crescita delle colture cellulari: essa, precedentemente sterilizzata, viene riempita ad esempio da terreno di coltura e agar liquido. Grazie all'agar il terreno, raffreddandosi, solidifica e assume la forma cilindrica del recipiente. Su di esso possono poi essere coltivate colonie cellulari con diverse tecniche. La piastra è provvista di un coperchio che permette il passaggio di aria (necessario, nella maggior parte dei casi, per la crescita batterica), ma impedisce il passaggio di altri microorganismi che potrebbero contaminare il terreno.

accrescimento microbiologico specifica per il tipo di test che si vuole eseguire; nel nostro caso son state utilizzate piastre TSA<sup>14</sup>.

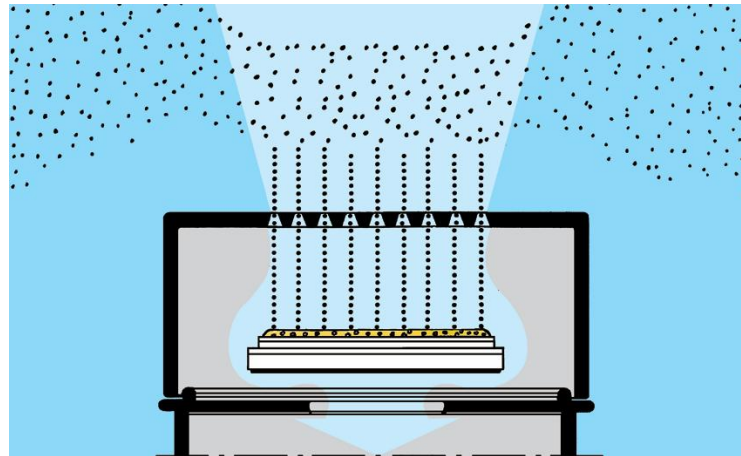


Figura 25 – Schema dell'assorbimento di microbiologico dall'aria sulla piastra

Trasferendo poi la piastra in incubatore a 36°C per 48h, i microrganismi si evidenzieranno sotto forma di colonie visibili ad occhio nudo, rendendo possibile il loro conteggio.

#### 4.1.d. Contatore di ioni in aria (AIC)



Figura 26 - Air Ion Counter AlphaLab

<sup>14</sup> Il Tryptic Soy Agar (agar soia triptico), è un terreno universale parzialmente completo che, dopo l'allestimento in capsule di Petri, sostiene la crescita di microrganismi non esigenti e moderatamente esigenti.

Il contatore di ioni in aria (Air Ion Counter), al contrario degli altri strumenti visti, non è un vero e proprio dispositivo per il monitoraggio dell'inquinamento dell'aria, ma fornisce indicazioni sul suo livello di ionizzazione: misura la densità di ioni (cationi e anioni) presenti in aria, aspirandola da un'apertura sulla parte superiore e rilasciandola dalla parte inferiore.

Il flusso di aria campionato viaggia a un rate di  $400 \text{ cm}^3/\text{sec}$ : i cationi e gli anioni presenti nel flusso d'aria vengono depositati su una piastra conduttrice. Il numero di cariche elementari al secondo che si depositano su tale collettore piano è contato misurando la tensione della piastra, collegata a massa attraverso una resistenza da  $10 \text{ G}\Omega$ .

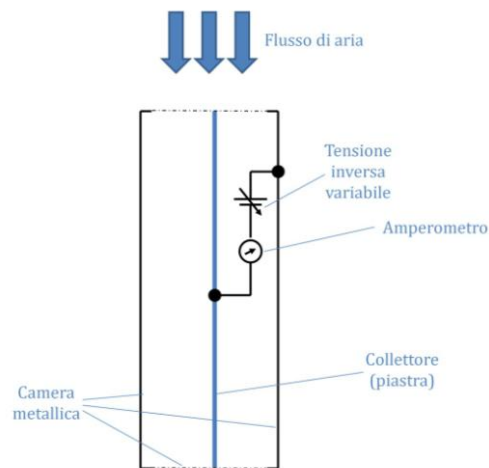


Figura 27 – Schema dell'interno del contatore AIC

E' possibile decidere quale carica (positiva o negativa) misurare tramite l'interruttore di polarità; in questo modo si va a scegliere la tensione  $t$  della camera metallica che sta intorno al collettore: se viene imposta sulla polarità positiva (potenziale:  $+10\text{V}$ ) gli ioni positivi all'interno della camera verranno accelerati dalle pareti della camera verso collettore centrale a potenziale nullo; allo stesso modo se si seleziona la polarità negativa (potenziale:  $-10\text{V}$ ) saranno gli ioni negativi ad essere spinti sulla piastra.

La manopola di regolazione del range di misura consente invece di scegliere l'ordine di grandezza del segnale d'uscita più opportuno, in base alla quantità di ioni rilevati; il segnale di  $1,999\text{V}$  (o  $-1,999\text{V}$ ) rappresenta il fondo scala dello strumento, indipendentemente da quale sia il range selezionato.

## 4.2. TEST SUL KOALA

I test eseguiti sul Koala hanno riguardato l'abbattimento di particolato e di carica batterica nell'aria, quantificati confrontando misure dell'aria in entrata del Koala con quelle in uscita; per convogliare il flusso d'aria in uscita nel punto di misurazione, al Koala è stato applicato un imbuto, di dimensioni

Entrata 50x20 cm (stessa area dell' uscita del Koala);

Uscita 14x8 cm;

Lunghezza 66 cm.



Figura 28 – Koala con imbuto in uscita

Di seguito sono riportate le descrizioni delle prove eseguite, con i relativi risultati:

- a) Prove di imbuto per abbattimento di particolato (a diverse velocità);
- b) Prove di imbuto per abbattimento di carica batterica (partendo da livelli iniziali diversi e testando l'efficacia dei vari componenti del Koala).

### 4.2.a. Prova di imbuto per particolato

Obiettivo: valutare la capacità di abbattimento di particolato in aria al variare della velocità del Koala.

<b>Livello velocità Koala</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/h)</b>
1	30
2	50
3	70
4	90
5	130
6	170
7	200

Descrizione:

Il campionamento è stato effettuato mediante Particle Scan Pro (PSP, [paragrafo 4.1.a.](#)). Per ogni velocità del Koala (1-7) sono state fatte misure di 10 secondi (periodo di campionamento: 1 sec), sia in entrata che in uscita, una di seguito all'altra.

Modalità d'esecuzione:

- Avviare il Koala a velocità 7 e lasciarlo agire per 5 minuti;
- Impostare il Koala a velocità 1;
- Campionare con PSP il retro del Koala (10 sec);
- Campionare con PSP l'uscita dell'imbuto (10 sec);
- Aumentare velocità di 1 livello e ripetere;
- Calcolare le medie di ogni campionamento (part/litro);
- Calcolare le percentuali di abbattimento.

Risultati (tabella completa in [Appendice 2](#)):

	Particolato $\geq 0.3 \mu\text{m}$						
Livello velocità	1	2	3	4	5	6	7
In entrata [part/l]	12938,5	13963,8	14360,7	13430,3	13265,8	13516,6	12887,8
In uscita [part/l]	111	359,1	1044,6	1353,3	2150,6	2596,3	4132,9
Efficienza %	99,14	97,43	92,74	89,92	83,79	80,79	67,93

\* Tabella completa dei risultati per i 6 canali del Particle Scan in Appendice 2

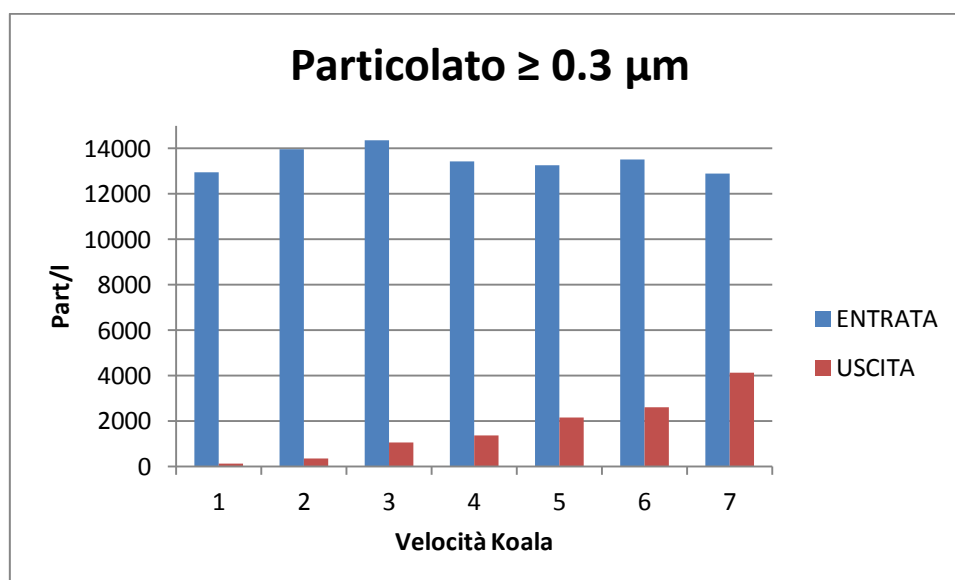


Figura 29 – Grafico d' abbattimento di particolato al variare del livello di velocità del Koala

Discussione: l'abbattimento di particolato per un singolo circolo d'aria nel Koala è tanto maggiore quanto più basso è il livello di velocità impostato; si va da un abbattimento del 99% ottenuto a livello 1, fino a meno del 70% a livello 7. Questo risultato era ciò che ci si attendeva, poiché con una velocità minore il particolato rimane più a lungo all'interno del Koala e ha meno possibilità di sfuggire all'azione del BEMAC.

#### 4.2.b. Prova di imbuto per carica batterica

Obiettivo: valutare la capacità di abbattimento del microbiologico in aria del Koala.

Descrizione: in uscita del Koala è stato applicato il medesimo imbuto della prova precedente- Il campionamento è stato effettuato mediante SAS ([paragrafo 4.1.c.](#)), sia sull'ambiente d'esame con Koala spento che sull'uscita dell'imbuto con Koala acceso. La procedura è stata ripetuta in diversi ambienti e con diverse configurazioni di Koala.

### **1) Koala in diversi ambienti**

Scopo: quantificare l'efficienza di abbattimento del microbiologico *one-through* del Koala in differenti condizioni ambientali di partenza.

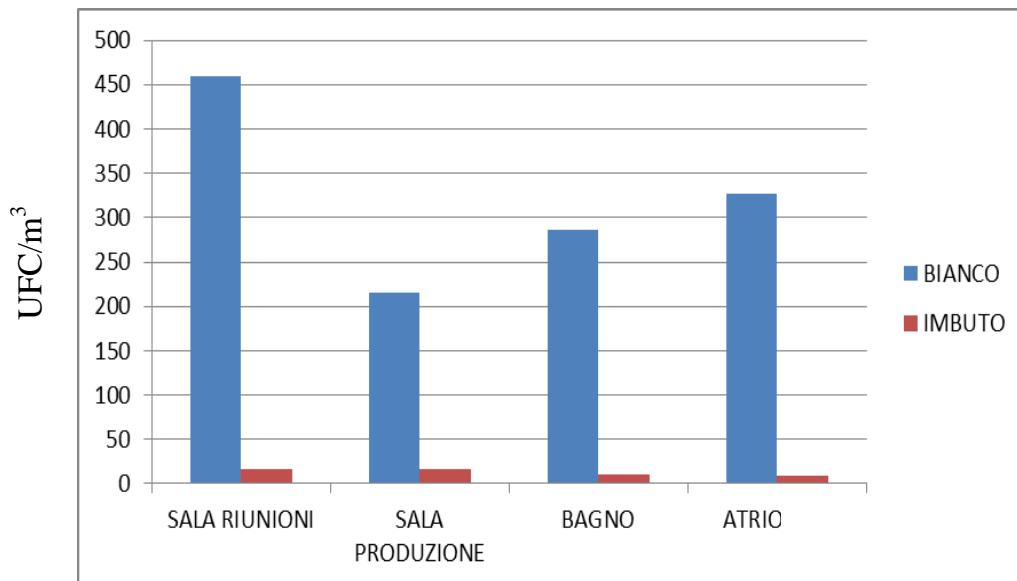
Modalità d'esecuzione:

- il campionamento SAS ambientale è stato effettuato a Koala spento;
- all'avvio del Koala, lo si è lasciato agire per 5 minuti a velocità 7;
- campionamento SAS effettuato all'uscita dell'imbuto, con Koala a velocità 3;
- volume d'aria aspirato in ogni campionamento: 1000 litri ( a 180 litri/min);
- utilizzate piastre TSA da 90 mm;
- periodo di incubazione piastre: 48h, in incubatore a 36°C.

Risultati:

<b>AMBIENTI</b>	<b>Conta SAS ambiente [UFC/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Conta SAS imbuto [UFC/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Abbattimento</b>
<b>Sala riunioni</b>	419	17	96,29 %
<b>Sala produzione</b>	215	16	92,56 %
<b>Bagno</b>	286	10	96,50 %
<b>Atrio</b>	327	9	97,25 %





**Figura 30 – Grafico di abbattimento della CBT negli ambienti d'esame**

Discussione: in tutti gli ambienti testati il Koala ha mostrato un abbattimento notevole della carica microbica presente nell'aria, con percentuali superiori al 95% in 3 casi su 4, pur partendo da livelli di carica iniziale molto diversi.

## 2) Contributo dei singoli filtri

Scopo: valutare i contributi portati dai diversi blocchi di filtraggio del Koala (sistema di prefiltraggio e BEMAC) alla percentuale complessiva di abbattimento del microbiologico.

Metodologia d'esecuzione:

- tutte le prove sono state eseguite in un unico ambiente (laboratorio).
- il campionamento SAS ambientale è stato effettuato a Koala spento, in 3 posizioni dell'ambiente di prova;
- nell'intervallo tra ogni prova, il Koala è stato mantenuto per 5 minuti a velocità 7;
- campionamento SAS effettuato all'uscita dell'imbuto ;
- utilizzate piastre TSA da 90 mm;
- periodo di incubazione piastre: 48h, in incubatore a 36°C;
- volume prelevato per ogni campionamento: 500 litri;
- la prove sono state condotte rimuovendo dal Koala, a turno o contemporaneamente, il sistema di pre-filtraggio (filtri meccanici e carboni attivi) e il filtro BEMAC;

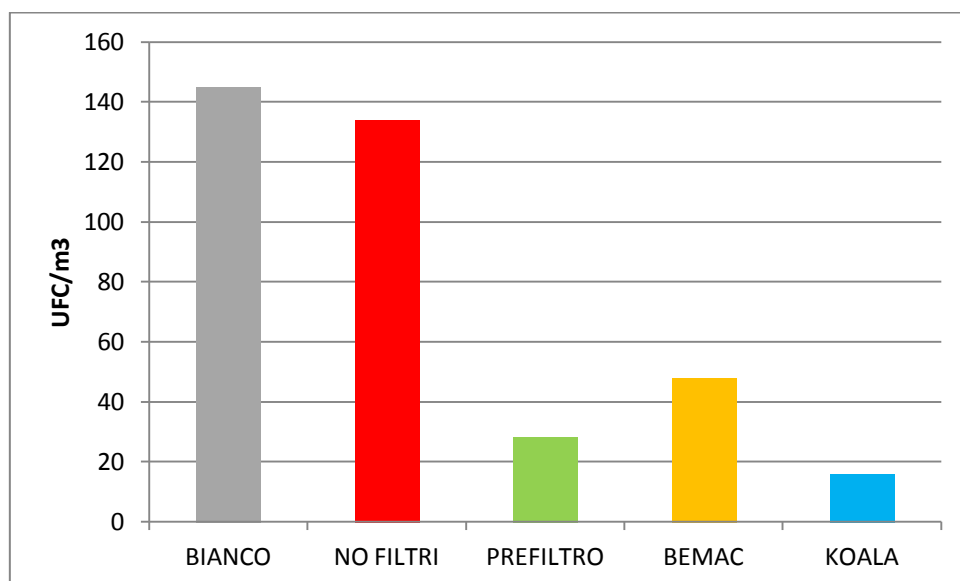
- le prove senza sistema di pre-filtraggio sono state effettuate sia a velocità 3 che a velocità 1, per tenere conto della decelerazione dell'aria che si avrebbe con l'attraversamento di tale sistema; le altre prove sono state effettuate a velocità 3.

Campionamento SAS ambientale (BIANCO):

Posizione	Conta [UFC/m <sup>3</sup> ]	Media [UFC/m <sup>3</sup> ]
DIETRO KOALA	130	145
VICINO KOALA	134	
LONTANO KOALA	172	

Risultati:

Test	Velocità Koala (1-7)	Conta SAS imbuto [UFC/m <sup>3</sup> ]	Abbattimento %
NO FILTRI	1	132	8,96 %
	3	136	6,20 %
PREFILTRO	3	28	80,68 %
BEMAC	1	44	69,65 %
	3	52	64,14%
PREFILTRO + BEMAC (KOALA)	3	16	88,97 %



**Figura 31 – Grafico dei risultati ottenuti;**  
i valori di “NO FILTRI” e “BEMAC” sono le medie dei risultati di vel. 1 e vel.3

## Discussione

L'abbattimento microbiologico del Koala è garantito maggiormente dal sistema di prefiltrazione, composto dai filtri meccanico, a microfibra e a carboni attivi: da solo ha portato ad un abbattimento dell'80% della carica batterica; anche il filtro BEMAC si è dimostrato efficace, ma in misura minore (abbattimento di circa 65%): l'azione sinergica dei 2 filtri comporta un miglioramento rispetto alle azioni dei singoli filtri (circa 90%). In termini assoluti, l'abbattimento riscontrato su campionamenti di 500L è inferiore a quello su 1000L dei test precedenti.

### **4.3. TEST SULLA CAPP**

Le sperimentazioni effettuate sulla cappa sono state eseguite al fine di testarne l'efficacia sia sul disinquinamento dell'aria dell'ambiente chiuso in cui è installata, sia sulla sanificazione della superficie sottostante.

#### Condizioni sperimentali generali

L'ambiente di prova (stanza cappa) ha le seguenti caratteristiche:

- 1 porta con accesso corridoio;
- 1 finestra chiusa che dà sul corridoio;
- Volume  $\approx 4.3 \times 5.2 \times 3 \text{ m} \approx 67 \text{ m}^3$  (di cui circa  $1,26 \text{ m}^3$  sono occupati da mobili);
- le pareti sono in muratura.

Durante l'esecuzione delle prove l'ambiente è rimasto isolato con l'esterno (porta e finestra chiuse), tuttavia sono presenti perdite d'aria con il corridoio, attraverso la porta, e con le stanze limitrofe, tramite le perdite del controsoffitto; questi altri ambienti mantengono le stesse caratteristiche di muratura e soffitto della stanza in esame.

Le condizioni ambientali iniziali prima delle sperimentazioni rispecchiano quelle di un normale ufficio.

Un tavolo in legno (superficie  $\approx 2.2 \times 1 \text{ m} \approx 2.2 \text{ m}^2$ ; altezza = 73 cm) è stato posizionato al di sotto della cappa, centrato rispetto la stessa; il suo scopo è quello di simulare la superficie del letto paziente.

### **4.3.1. Test di abbattimento del particolato**

Obiettivo: verificare l'andamento nel tempo dell'abbattimento di particolato nell'aria sottostante la cappa, confrontando le performance di diverse configurazioni di funzionamento.

#### Descrizione

Sono state eseguite 3 serie di prove; le prime 2 erano misure del particolato fine, si è quindi utilizzato il Particle Scan Pro ([paragrafo 4.1.a.](#)); nella terza invece si è misurato il particolato nell'ordine dei nanometri, utilizzando sia il Particle Scan Pro che il Condensation Particle Counter 3007 ([paragrafo 4.1.b.](#)).

- 1) Abbattimento particolato fine al variare della velocità: per ogni prova è stato impostato un livello di velocità diverso, uguale per tutti i 4 Koala, utilizzando però solo livelli medi (3,4,5); infatti velocità troppo basse non avrebbero garantito flusso in uscita dalla cappa, mentre velocità troppo alte dalle prove precedenti risultano meno efficienti;
- 2) Abbattimento particolato fine al variare del numero di Koala della cappa accesi: le prove sono state eseguite tutte allo stesso livello di velocità, concentrando l'attenzione sull'eventuale sovrapposizione degli effetti di ogni singolo Koala;
- 3) Abbattimento particolato ultrafine: si è valutato l'andamento del tempo dell'abbattimento di particolato superiore ai 10nm.

#### **1) Abbattimento particolato fine al variare della velocità**

##### Modalità d'esecuzione

- Prima dell'avvio della prova, mantenere la porta della stanza aperta e tutti i Koala spenti per almeno 12 ore;
- Posizionare il PSP al centro del tavolo, in posizione verticale;
- Impostare il periodo di campionamento a 10 secondi;
- Accendere i 4 Koala e impostare la velocità scelta (3, 4, 5);
- Avviare il campionamento del PSP;
- Uscire dalla stanza e chiudere la porta;
- Durata della prova: 3 ore;
- dopo aver scaricato i dati su pc, mediare i 6 campionamenti relativi ad ogni minuto.

La prova è stata ripetuta per i livelli di velocità 3, 4, 5.

Risultati:

Vel	0 min	30 min	60 min	90 min	120min	150 min	180 min	Abbattimento tot %
3	29936	19522	13649	10526	8166	3975	3855	87,12
4	30659	21332	15946	12078	10855	7127	4983	83,75
5	31762	22928	16198	11820	12580	9013	5297	83,32

Concentrazioni di particolato (part/l) di dimensione 0,3 µm al variare del tempo e della velocità dei Koala

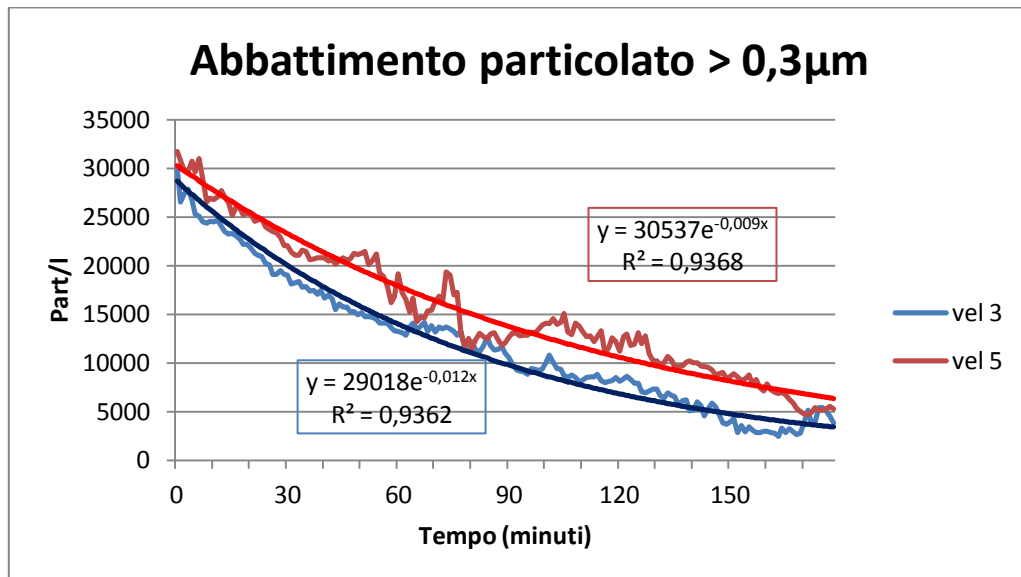


Figura 32 – Confronto dell’andamento nel tempo dell’abbattimento di particolato alle diverse velocità dei 4 Koala; NB: il grafico di “velocità 4” si sovrappone a quello di “velocità 5”

Discussione

Non risultano differenze significative dell’andamento nel tempo dell’abbattimento di particolato rispetto alla velocità dei Koala: in tutte le prove si ha avuto un decadimento con tendenza esponenziale, fino ad un livello di circa  $4 - 5 \times 10^6$  part/m<sup>3</sup> (1 part/l=1000 part/m<sup>3</sup>); la scelta della durata della prova (3 ore) è giustificata proprio dal fatto che, oltre tale finestra temporale, il decadimento terminava e le tendenze diventavano oscillatorie nell’intorno del livello di fondo; ciò è probabilmente dovuto alle perdite d’aria dal controsoffitto della stanza, che determinano un livello di background non eliminabile nel

giro di poche ore. Le percentuali di abbattimento totali variano tra l'83 e l'87% ma, oltre che dalla velocità di funzionamento della cappa, sono influenzate anche dall'andamento oscillatorio finale suddetto e dai diversi livelli di particolato iniziale tra le varie prove: per questo non si può attribuire alla variazione di velocità un effetto diretto sull'efficienza.

## 2) Abbattimento particolato fine al variare del numero di Koala della cappa accesi

### Modalità d'esecuzione

- Prima dell'avvio della prova, mantenere la porta della stanza aperta e tutti i Koala spenti per almeno 12 ore;
- Posizionare il PSP al centro del tavolo, in posizione verticale;
- Impostare il periodo di campionamento a 10 secondi;
- Accendere il numero di Koala scelto (1,2,4) e impostarli a velocità 3;
- Avviare il campionamento del PSP;
- Uscire dalla stanza e chiudere la porta;
- Durata della prova: 2 ore e 30 minuti;
- dopo aver scaricato i dati su pc, mediare i 6 campionamenti relativi ad ogni minuto.

La prova è stata ripetuta per 1, 2, 4 Koala accesi.

### Risultati:

n° Koala	0 min	30 min	60 min	90 min	120min	150 min	Abbattimento tot %
1	37338	28183	18117	13429	8975	7915	78,80
2	34295	28599	19161	15015	6906	6792	80,20
4	29936	19522	13649	10526	8166	3975	86,72

**Concentrazioni di particolato (part/l) di dimensione 0,3 µm al variare del tempo e del n° di Koala accesi**

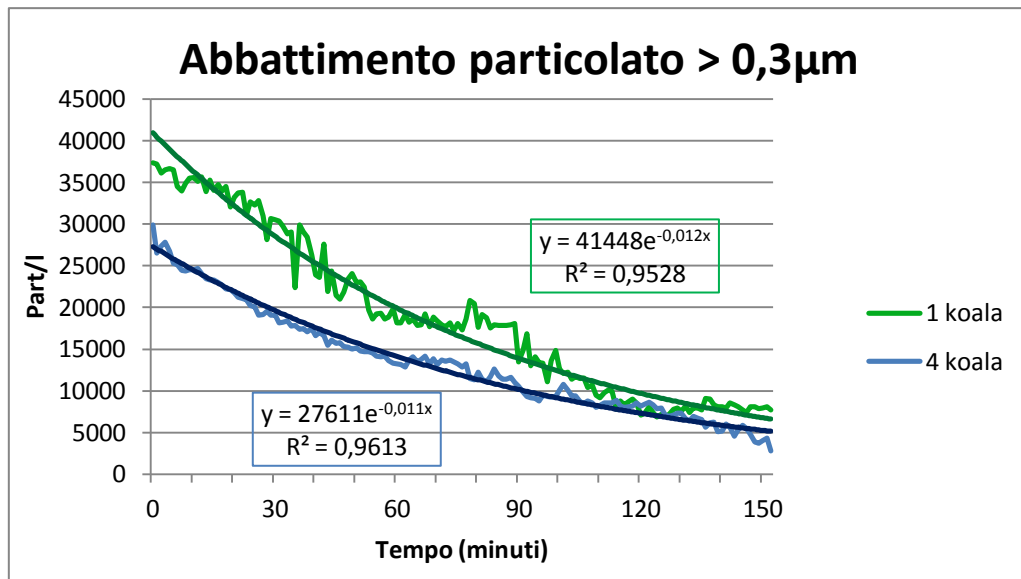


Figura 33 – Confronto degli andamenti di abbattimento di particolato nel tempo a seconda del n° di Koala accesi; NB: i dati riferiti a “2 koala accesi” si sovrappongono a quelli di “1 koala acceso”.

#### Discussione:

Come per il test precedente, si è riscontrato un decadimento di tipo esponenziale (in buona approssimazione) per tutte le prove; dal confronto risulta che, aumentando il numero di Koala attivi, l'efficienza della cappa nell'abbattimento di particolato aumenta, e si arriva in minor tempo al livello di background della stanza; ciò conferma l'ipotesi iniziale e giustifica la scelta di aver costruito la cappa con più Koala. Anche in queste prove, il livello di background di particolato che permane è imputabile alle perdite d'aria.

### **3) Abbattimento del particolato nanometrico (10 – 300 nm)**

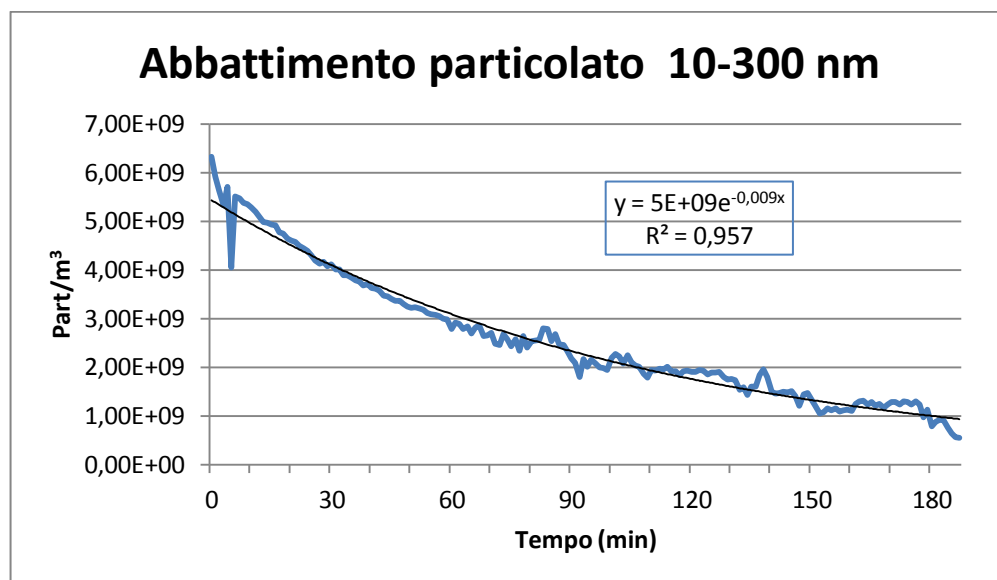
#### Modalità d'esecuzione

- Prima dell'avvio della prova, mantenere la porta della stanza aperta e tutti i Koala spenti per almeno 12 ore;
- Caricare la cartuccia di alcool isopropilico nel contatore CPC;
- Posizionare il CPC vicino al bordo del tavolo, in posizione orizzontale;
- Posizionare il PSP al centro del tavolo, in posizione verticale;
- Impostare il periodo di campionamento a 10 secondi per entrambi i contatori;
- Accendere i 4 Koala della cappa e impostarli a velocità 3;
- Avviare contemporaneamente i campionamenti del CPC e del PSP;
- Uscire dalla stanza e chiudere la porta;
- Durata della prova: 3 ore;

- dopo aver scaricato i dati su pc, mediare i 6 campionamenti relativi ad ogni minuto;
- Sottrarre i valori delle medie di campionamento del PSP da quelli del CPC, per avere dati riferiti al solo particolato ultrafine (10-300 nm)

### Risultati

Dimensioni particolato	Inizio [part/m <sup>3</sup> ]	Dopo 180 min [part/m <sup>3</sup> ]	Abbattimento %
10-300 nm	63,20 x10 <sup>8</sup>	7,88 x10 <sup>8</sup>	87,54
>300 nm (test precedente)	29,94 x10 <sup>6</sup>	3,85 x10 <sup>6</sup>	87,12



### Discussione

Come per il particolato meno fine, anche per il nanometrico si riscontra un abbattimento esponenziale, con un' efficienza intorno all'87% ,fino ad un livello di fondo. Dai test risulta quindi che la cappa è efficace in egual misura sia sul particolato fine che sull'ultrafine.



### 4.3.2. Test sulla sanificazione della superficie

Obiettivo: verificare gli effetti battericidi del flusso di aria disinquinata e ionizzata in uscita dalla cappa su piastre inquinate, nel punto d'impatto.

Descrizione:

il test consiste in 2 fasi: la prima prevede il campionamento d'aria mediante Air Ion Counter (AIC), per verificare la densità di ioni presenti sulla superficie d'esame, ovvero sul tavolo sottostante la cappa (vedi [condizioni sperimentali generali](#)); la seconda consiste in un test biologico, per cui sono state utilizzate piastre TSA<sup>15</sup> inoculate con soluzione di *Staphilococcus aureus* ([vedi paragrafo 1.6.](#)). Tali piastre sono state collocate sull'intera superficie del tavolo, disposte su 5 file, ognuna identificata con la propria posizione; al termine della prova e dopo l'incubazione, sono state contate le colonie formatesi in ogni piastra, e confrontate con quelle di controllo<sup>16</sup>.

Modalità d'esecuzione:

- 1) Accensione cappa (4 Koala), velocità 4;
- 2) Misure di ionizzazione con AIC sulla superficie d'impatto del Koala (9 posizioni numerate);
- 3) Preparazione di 50 piastre TSA 90mm:
  - Identificazione (data e posizione) con pennarello indelebile sul coperchio;
  - Posizionamento, ognuna nella posizione assegnata, disposte su 5 file sul lato lungo del tavolo
    - 44 piastre di prova (sulla superficie in esame);
    - 3 piastre di tempo zero<sup>17</sup>;
    - 3 piastre di controllo.
  - Scopercchiamento.
- 4) Uscire dalla stanza e chiudere la porta.
- 5) Attendere 8h;

---

<sup>15</sup> TSA: Tryptic Soy Agar (agar soia triptico), è un terreno universale parzialmente completo che, dopo l'allestimento in capsule di Petri, sostiene la crescita di microrganismi non esigenti e moderatamente esigenti.

<sup>16</sup> Piastre di controllo: vengono posizionate su di una superficie diversa da quella sperimentale (superficie di controllo), per tutta la durata della prova; poi vengono incubate insieme con le piastre della superficie sperimentale. Dal confronto tra piastre di prova e di controllo vengono determinate le percentuali d'abbattimento.

<sup>17</sup> Piastre di Tempo Zero: vengono subito incubate (36°C) all'inizio della prova; servono per verificare la corretta preparazione dell'inoculo delle piastre.

- 6) Richiudere le piastre e metterle nell'incubatore (36°C), capovolte;
- 7) Attendere 48h;
- 8) Prelevare le piastre dall'incubatore e contare le UFC (Unità Formanti Colonie) cresciute in ogni piastra.
- 9) Confrontare il numero delle colonie cresciute sulle piastre di prova e su quelle di controllo;
- 10) Elaborazione risultati.



**Fila A**

**Fila E**

Risultati (tabella completa in [Appendice 3](#)):

Legenda (scala di colori sfumata)

	MINIMO
	MEDIO
	MASSIMO

**ABBATTIMENTO PIASTRE %**

Nord

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
14,06	18,80	24,08	2,99	0,00	4,57	0,00	34,09	0,00
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	
1,93	11,95	8,26	0,35	23,55	4,04	0,00	14,06	
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
37,26	5,62	47,28	60,98	66,78	64,15	54,66	49,38	53,60
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	
37,79	54,13	59,40	74,69	71,53	53,08	43,59	71,00	
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
28,82	23,55	39,37	57,29	14,59	26,71	12,48	0,88	25,66

Sud

**CONCENTRAZIONI IONI NEGATIVI [ioni/cm<sup>3</sup>]**

Nord

A-B1	A-B5	A-B9
46900	46832	39810
C1	C5	C9
59862	68223	60822
D-E1	D-E5	D-E9
57689	64789	59019

Sud



Figura 34 - Fila A, piastre 4, 5, 6



Figura 35 – Fila D, piastre 4, 5, 6

### Discussione

I risultati sono sotto le aspettative sia per quanto riguarda la concentrazione di ioni che per l'abbattimento di colonie sulle piastre.

La concentrazione di ioni è piuttosto bassa su tutta la superficie del tavolo:

in nessun caso si superano i 70mila ioni per  $\text{cm}^3$ , mentre il risultato minimo atteso era di almeno 200-300mila ioni per  $\text{cm}^3$ . Inoltre verso nord risultano concentrazioni di molto inferiori rispetto alla fila centrale.

Riguardo alle piastre, in generale i livelli di abbattimento di *St. aureus* sono bassi, e si sono sviluppate anche colonie batteriche di altre specie, tra le 10 e le 20 per ogni piastra.

Dalla mappa di colori risalta subito la dissimmetria d'abbattimento rispetto alla fila centrale tra zona "nord" e zona "sud"; in particolare, si identificano 3 fasce:

quella a nord, comprendente le file A e B, presenta le minori percentuali di abbattimento;

	<b>ABBATTIMENTO</b>	<b>N° PIASTRE</b>
<b>FILA A-B</b> <b>(17 piastre)</b>	<b>0%</b>	<b>5</b>
	<b>1-5%</b>	<b>4</b>
	5-10%	1
	10-20%	4
	20-25%	2
	+30%	1

nella zona a centro-sud, comprendente le file C e D, si sono avuti invece risultati migliori;

	<b>ABBATTIMENTO</b>	<b>N° PIASTRE</b>
<b>FILA C-D</b> <b>(17 piastre)</b>	5%	1
	37%	2
	40-50%	3
	<b>50-60%</b>	<b>5</b>
	<b>60-70%</b>	<b>3</b>
	<b>+70%</b>	<b>3</b>

infine nella fila più a sud (E), i risultati sono stati intermedi rispetto alle altre 2 zone.

Le 3 fasce sono ben distinguibili anche dal confronto delle medie d'abbattimento per ogni fila:

<b>Media UFC CONTROLLO</b>	<b>FILA</b>	<b>Media UFC PROVA</b>	<b>MEDIA % D'ABBATTIMENTO</b>
<b>190</b>	<b>A</b>	<b>177</b>	<b>10,95%</b>
	<b>B</b>	<b>176</b>	<b>8,02%</b>
	<b>C</b>	<b>97</b>	<b>48,86%</b>
	<b>D</b>	<b>79</b>	<b>58,15%</b>
	<b>E</b>	<b>141</b>	<b>25,48%</b>

Questa dissimmetria, assieme a quella per la concentrazione di ioni negativi, è probabilmente dovuta alla disomogeneità del flusso d'uscita dai Koala, che, ricordo, sono

stati montati in una configurazione diversa da quella per cui sono stati progettati (in verticale verso il basso anziché in orizzontale) .

L'unico aspetto positivo, ma molto importante ricordando l'obiettivo di tale test, è la corrispondenza tra le zone di maggior concentrazione di ioni negativi con quelle con maggiori percentuali di abbattimento batterico.

Questo autorizza a pensare che la disomogeneità dell'abbattimento sia dovuta proprio al differenziale di densità di anioni, anche se i motivi di tali differenze non sono ancora stati compresi.

## Capitolo 5 - CONCLUSIONE

Il tema centrale di questa tesi è la sperimentazione del prototipo cappa disinquinante, con azione su aria e superfici, per capire se e in che modo possa dare un contributo significativo nella lotta alle infezioni ospedaliere; tale sperimentazione è consistita in una serie di test volti ad indagare sia l'aria dell'ambiente di prova, sia le superfici d'impatto del flusso in uscita.

Dai test effettuati, il prototipo si è dimostrato efficace sul disinquinamento dell'aria, meno invece per quanto riguarda l'azione battericida sulle superfici.

L'analisi dell'aria sotto l'effetto della cappa ha mostrato un decadimento esponenziale del particolato sia fine che ultrafine, con stessa efficienza (circa 87%), fino ad un livello di fondo non eliminabile, probabilmente attribuibile alle perdite d'aria con gli ambienti circostanti.

Già dai test preliminari sul Koala si era provata l'efficacia del disinquinatore sull'aria, sia per quanto riguarda il particolato che la carica batterica totale, con efficienza variabile rispetto all'ambiente di prova considerato (volume, livello d'inquinamento iniziale, perdite d'aria, ecc) ; le ulteriori indicazioni fornite dai test sulla cappa sono state che il funzionamento contemporaneo dei 4 Koala migliora l'efficienza durante il periodo di prova considerato (come era ipotizzabile a priori), mentre la variazione di velocità degli stessi non sembra influenzare in maniera determinante né il tempo di decadimento né la quantità d'abbattimento totale.

Per quanto riguarda le superfici, alcuni aspetti sono da migliorare:

- la concentrazione media di ioni negativi sulla superficie del tavolo è troppo bassa: ciò è attribuibile ad un flusso d'aria non adeguatamente forte per distaccare gli ioni negativi dagli emettitori e farli arrivare sulla superficie del tavolo;
- l'abbattimento totale delle colonie sulle piastre è risultato significativo solo in pochi casi isolati, in cui è stato superiore del 70%, mentre per la maggior parte delle piastre le percentuali sono nettamente più basse, con alcune che non hanno subito nessuna azione battericida;
- le piastre nelle file a "nord" presentano molte più colonie rispetto a quelle delle zone a "centro-sud" del tavolo: ciò può dipendere dalla dissimmetria del flusso in

uscita del Koala in verticale (configurazione diversa da quella di progetto), ma è opportuno anche approfondire lo studio delle turbolenze che si creano all'interno del polmone di calma rappresentato dalla cappa per far fronte a questa disomogeneità.

Nonostante questo, si è riscontrato anche un importante aspetto positivo: il minor sviluppo di colonie in zone del tavolo in cui è stata misurata una maggior concentrazione di ioni negativi; questo prova il potere battericida della ionizzazione negativa, anche se tale risultato non è sufficiente per trarre conclusioni definitive.

In conclusione sono necessari dei perfezionamenti, sia per il disinquinamento aria che per la sanificazione superfici, per un'applicazione in campo ospedaliero.

## **SVILUPPI FUTURI**

E' necessario apportare modifiche alla cappa e ripetere le sperimentazioni per poter migliorare i risultati ottenuti.

A tal fine, sono già stati considerati dei possibili interventi; alcuni sono applicabili alla struttura attuale della cappa (e per questo saranno i primi in ordine di tempo), gli altri invece prevedono una riprogettazione dell'intera struttura:

Interventi sulla cappa attuale:

- modificare le bocchette d'uscita dei Koala, al fine di distribuire meglio i flussi d'uscita;
- compartizzare l'interno della cappa, in modo tale che il flusso di ogni Koala sia meglio indirizzato verso la griglia ionizzante;
- creare un sistema di aspirazione dell'aria in ingresso della cappa da terra anziché dall'alto, in modo tale da generare una depressione verso il basso e guidare così l'aria in uscita verso le superfici sottostanti.

Interventi con modifica della struttura della cappa:

- cambiare la disposizione dei Koala (es. a versi alterni opposti);
- modificare la forma dei fori della griglia ionizzante;
- progettare un unico sistema di disinquinamento, che sostituisca i 4 Koala attuali, e che garantisca sia una maggior velocità di flusso sia una distribuzione omogenea sulla superficie sottostante.



L'ordine preciso di tali interventi non è possibile stabilirlo a priori: a seconda dei risultati ottenuti, volta per volta si deciderà quale dovrà essere la modifica successiva.

Inoltre, per avere indicazioni affidabili sull'efficienza d'abbattimento (soprattutto di particolato), è necessario intervenire sull'adeguamento dell'ambiente di sperimentazione, eliminando le perdite d'aria e ricreando, per quanto possibile, le condizioni di un ambiente ospedaliero.

Questa tesi quindi rappresenta l'inizio di un percorso di interventi e sperimentazioni, in materia di ricerca e sviluppo, al fine di perfezionare il prototipo ed ottenere un più performante abbattimento degli inquinanti, in aria e sulle superfici, fino a renderlo idoneo per l'applicazione in ambito ospedaliero.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Circolare del Ministero della Sanità n.52*. 1985.
2. **(CDC), Centre for Disease prevention and Control**. [www.cdc.gov/HAI/](http://www.cdc.gov/HAI/). [Online]
3. *Health Information Technology e sistemi integrati di sorveglianza delle HCAI*. **Lanzafame P, Gaino M, Ober P, Predazzer R**. s.l. : Atti della XII Conferenza Nazionale di Sanità Pubblica.
4. *XLII edizione del Congresso nazionale dell'Associazione dei microbiologi clinici italiani (Amcli)* . 2013.
5. **(ECDC), European Centre for Disease prevention and Control**. *Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals, 2011-2012*. 2013.
6. **(WHO), World Health Organization**. *Report on the burden of endemic health care-associated infection worldwide*.
7. **Filetoth, Zsolt**. *Hospital- Acquired Infection*. London : Whurr Publishers Ltd, 2003.
8. Sorveglianza e controllo delle infezioni ospedaliere in terapia intensiva, Indagine conoscitiva in Emilia-Romagna. 2005.
9. **(WHO), World Health Organization**. *Prevention of hospital-acquired infections - A practical guide - 2nd edition*. 2002.
10. **Prof. M. Solbiati, Divisione Clinicizzata di Malattie Infettive, Università degli Studi di Verona**. *Modalità di trasmissione delle infezioni in ambito sanitario/assistenziale e fattori favorevoli*. Verona : s.n., 2003.
11. **M.L.Moro, ANMDO (Associazione Nazionale dei Medici delle Direzioni Ospedaliere)**. *Le Infezioni Ospedaliere: prevenzione e misure di controllo*.
12. **Università di Pisa**. *Controllo Rischio Infettivo in Sanità, Toscana*. 2005.
13. **Treccani, Enciclopedia**. <http://www.treccani.it/enciclopedia/resistenza/>. [Online]
14. **(WHO), World Health Organization**. *Antimicrobial resistance: global report on surveillance*. 2014.

15. **International Organization of Standardization.** ISO 14644 Cleanrooms and associated controlled environments.
16. **Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro - Dipartimento Igiene del Lavoro.** Linee guida sugli standard di sicurezza e di igiene del lavoro nel reparto operatorio. Italia : s.n., 2009.
17. **(ISS), Istituto Superiore di Sanità.** <http://www.iss.it/emol/?lang=1&tipo=17>. [Online]
18. **Ministero dell'ambiente Italiano.** 1991.
19. **Agency, Environment Protection.** Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule. 2006.
20. **Lee, Byung Uk.** Life Comes from the Air: A Short Review on Bioaerosol Control. Seoul : Aerosol and Bioengineering Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Konkuk University, 2011.

## **ABBREVIAZIONI**

AIC Contatore di Ioni in Aria

AIFA Agenzia Italiana del Farmaco

AMR AntiMicrobial Resistance (resistenza agli antibiotici)

BEMAC Biologico E Molecolare Attivo Continuo

CBT Carica Batterica Totale

CPC Contatore di Particelle a Condensazione

HAI Healthcare-Associated Infections

ICA Infezioni Correlate all'Assistenza

ISS Istituto Superiore di Sanità

MRSA Staphylococcus Aureus Resistente alla Meticillina

OMS Organizzazione Mondiale della Sanità

PSP Particle Scan Pro (contatore laser di particelle aerodisperse)

SAS Surface Air System (campionatore microbiologico d'aria)

SOP Procedura Operativa Standard

SSN Sistema Sanitario Nazionale

UFC Unità Formanti Colonie

# APPENDICE

## 1. Scheda tecnica Koala

Alimentazione da rete	230 VAC 50-60 Hz $\pm$ 10%
Potenza massima assorbita dalla rete	155W (Alla velocità 3)
Potenza in Standby	1W
Display LCD retroilluminato, per il controllo e la visualizzazione dei parametri operativi	240x64 pixel
Livello acustico di rumore al 1 metro dalla griglia di uscita	32 dbA (a velocità 1) - 38,5 dbA (a velocità 3)
Velocità programmabili della ventola	N. 7 livelli
Portate d'aria alle varie velocità della ventola	30-50-70-90-130-170-200 m <sup>3</sup> /h
Superficie max. consigliata per 1 apparecchiatura	40 m <sup>2</sup>
Filtro Bemac 6 UV	6 Lampade UV con 12 condotte per il passaggio dell'aria
Filtri Meccanici	N. 3
Filtri a Fibre polarizzate	N. 3
Filtri a Carboni Attivi	N. 3
Peso Carboni Attivi	1100 g
Sostituzione dei Filtri a Carboni attivi	Dopo 3000 ore di funzionamento
Punte ionizzanti	N. 4
Comando a distanza	Raggi infrarossi
Contatore vita Filtri a Carboni attivi	SI
Contatore vita Filtro Bemac	SI
Contatore vita Ventola	SI
Segnalazione avaria UV	SI
Segnalazione avaria Alta tensione	SI
Segnalazione avaria Ventola	SI
Segnalazione assenza Filtro Bemac	SI
Programmazione Accensione/Spegnimento	Settimanale
Lingue supportate	Inglese, Francese, Spagnolo, Tedesco, Italiano, Russo
Peso corpo macchina Dimensioni (L x P x A)	23 Kg (compreso di filtri a CA e filtro Bemac 6 UV) cm 52x63,7x33,5 H
Supporti Apparecchiatura	Zanca (a parete o soffitto) o Stativo su ruote (a pavimento)
Colori	Beige (RAL 1013)

## 2. Risultati prova di imbuto Koala per particolato fine

Velocità 1						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	12938,5	2403,4	1347	832	282,6	17
In uscita [part/l]	111	85,4	76,9	59,8	17,1	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>99,14</b>	<b>96,45</b>	<b>94,29</b>	<b>92,81</b>	<b>93,95</b>	<b>100</b>
Velocità 2						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	13963,8	2575,8	1278,3	703,1	188,1	17
In uscita [part/l]	359,1	110,7	76,6	59,6	0	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>97,43</b>	<b>95,70</b>	<b>94,01</b>	<b>91,52</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Velocità 3						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	14360,7	2748	1424,7	780,7	214,1	0
In uscita [part/l]	1044,6	222	85,2	68,2	0	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>92,74</b>	<b>91,92</b>	<b>94,02</b>	<b>91,26</b>	<b>100</b>	<b>-</b>
Velocità 4						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	13430,3	2146,3	1098,1	617,4	162,5	17,1
In uscita [part/l]	1353,3	290,5	110,9	93,9	34,2	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>89,92</b>	<b>86,46</b>	<b>89,90</b>	<b>84,79</b>	<b>78,95</b>	<b>100</b>
Velocità 5						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	13265,8	2171,5	977,4	531,2	200	17
In uscita [part/l]	2150,6	435,8	256,2	170,9	42,7	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>83,79</b>	<b>79,93</b>	<b>73,79</b>	<b>67,83</b>	<b>78,65</b>	<b>100</b>
Velocità 6						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	13516,6	2421,1	1175,4	712	171,2	0
In uscita [part/l]	2596,3	521,3	273	153,5	59,7	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>80,79</b>	<b>78,47</b>	<b>76,77</b>	<b>78,44</b>	<b>65,13</b>	<b>-</b>
Velocità 7						
Dimensioni particolato [ $\mu\text{m}$ ]	$\geq 0.3 \mu\text{m}$	$\geq 0.5 \mu\text{m}$	$\geq 0.7 \mu\text{m}$	$\geq 1.0 \mu\text{m}$	$\geq 2.0 \mu\text{m}$	$\geq 5.0 \mu\text{m}$
In entrata [part/l]	12887,8	2318,1	1209,9	712	214,1	17
In uscita [part/l]	4132,9	787,5	513,5	316,7	102,6	0
<b>Abbattimento %</b>	<b>67,93</b>	<b>66,03</b>	<b>57,56</b>	<b>55,52</b>	<b>52,08</b>	<b>100</b>

### 3. Risultati test superficiali cappa

		S. aureus	Altri	Contact sul coperchio (*)	abbattimento %
FILA A	1	163	19		14,1
	2	154	9		18,8
	3	144	10	4	24,1
	4	184	12		3,0
	5	206	13		
	6	181	11		4,6
	7	202	16	7	
	8	125	12		34,1
	9	233	6		
FILA B	1	186	14	6	1,9
	2	167	8		12,0
	3	174	9	4	8,3
	4	189	15	4	0,4
	5	145	11	6	23,6
	6	182	8	2	4,0
	7	203	15		
	8	163	16	7	14,1
FILA C	1	119	14		37,3
	2	179	3		5,6
	3	100	23	3	47,3
	4	74	8		61,0
	5	63	11	6	66,8
	6	68	14		64,1
	7	86	13	6	54,7
	8	96	10		49,4
	9	88	12		53,6
FILA D	1	118	21	3	37,8
	2	87	17		54,1
	3	77	13	3	59,4
	4	48	14	8	74,7
	5	54	12	12	71,5
	6	89	14	8	53,1
	7	107	13		43,6
	8	55	16	16	71,0
FILA E	1	135	15		28,8
	2	145	20		23,6
	3	115	13	2	39,4
	4	81	14		57,3
	5	162	12		14,6
	6	139	19		26,7
	7	166	10	8	12,5
	8	188	20		0,9
	9	141	11		25,7

(\*)= campionamento con piastra contact nel coperchio posto lato porta rispetto alla piastra

T0	R1	222	209,67
	R2	214	
	R3	193	

CONTROLLO	R1	222	189,67
	R2	194	
	R3	153	



*Un sincero ringraziamento al Prof. Claudio Lamberti, per essere stato sempre puntuale e gentile nel fornirmi consigli utili e chiarimenti sulla redazione della tesi.  
Grazie prof!*

*Marco Sanchioni*