

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**STIMA DEL DEPOSITO DI
PARTICOLATO ATMOSFERICO
NELL'APPARATO RESPIRATORIO NEI
PERCORSI PEDONALI A MILANO**

Relatore: Prof. Giovanni Lonati

Tesi di laurea di: STEFANIA CANZINI

Matricola 766281

Anno Accademico 2012/2013

A me stessa

ABSTRACT

Il particolato rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane.

In particolare il PM_{2.5} è stato riconosciuto in diversi ambienti urbani come la frazione predominante del particolato PM₁₀. Diversi studi epidemiologici, d'altronde, hanno mostrato come tale frazione sia la causa predominante che determina un aumento di malattie all'apparato polmonare e cardiaco.

Proprio recentemente, i mass-media hanno divulgato notizie allarmanti riguardanti l'aumento delle malattie delle vie polmonare e del sistema cardiaco proprio per effetto dell'aumento dell'inquinamento atmosferico. Gli studi effettuati per definire la caratterizzazione e l'origine delle particelle di particolato hanno dimostrato e confermato quanto sopra esposto. E' stato accertato che il sistema delle vie respiratorie dell'organismo umano, ha la funzione di filtro del particolato inalato durante la naturale funzione respiratoria. La struttura dell'apparato respiratorio, con i vari organi che la compongono, riescono a catturare e a neutralizzare le particelle di grandi dimensioni. Purtroppo le particelle di minor dimensioni eludono la barriera naturale di filtraggio, depositandosi nelle parti più a rischio dell'apparato respiratorio condizionando anche il sistema cardio-circolatorio. E' stato dimostrato che le particelle inferiori ai 15 µg producono degli effetti indesiderati sulla salute umana, mentre quelle a dimensioni maggiori vengono, sostanzialmente, "catturate" ed espulse attraverso le vie respiratorie.

Con questo elaborato sono state individuate le zone a rischio di deposito nel sistema respiratorio applicando il modello ICRP1994 e, successivamente, mediante una raccolta dati, sono stati elaborati dei grafici nei quali sono rappresentati le concentrazioni di deposito in funzione delle varie postazioni lungo un percorso pedonale nella zona centrale di Milano.

INDICE

INTRODUZIONE	7
 CAPITOLO 1 – IL PARTICOLATO ATMOSFERICO	 9
1.1 - Definizione e classificazione del particolato	9
1.2 - Origine e composizione del particolato	13
1.3 - Concentrazione degli inquinanti atmosferici	22
1.4 - Effetti del particolato sulla salute umana	29
 CAPITOLO 2 – MODELLI DI DEPOSIZIONE	 37
2.1 - Premessa	37
2.2 - Fattori per determinare la deposizione delle particelle	38
2.2.1 - Struttura dell'apparato respiratorio	39
2.2.2 - Parametri respiratori.....	44
2.2.3 - Dinamiche del fluido	46
2.2.4 - Proprietà delle particelle.....	48
2.2.5 - Meccanismi di deposizione	48
2.3 - Modelli di deposizione	52
2.3.1 - Modelli empirici	53
2.3.2 - Modelli meccanicistici	58
2.3.2.1 - Modello a sezione trasversale o “trumpet”	59
2.3.2.2 - Modello simmetrico deterministico o “single-path”	60
2.3.2.3 - Modello asimmetrico deterministico o “multiple-path”	61
2.3.2.4 - Modello asimmetrico stocastico o “stochastic multiple- path”	63
2.4 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione	65
2.4.1 - Deposizione totale	65
2.4.2 - Deposizione regionale.....	66
2.4.3 - Deposizione generazionale	68
2.5 - Calcolo di deposizione in un modello asimmetrico proposto da Horsfield	69

CAPITOLO 3 – CASO STUDIO: STIMA DEL DEPOSITO DURANTE UN PERCORSO

PEDONALE A MILANO	73
3.1 - Materiali e metodi.....	73
3.1.1 - Percorso pedonale	73
3.1.2 - Strumenti di misura	76
3.2 - Risultati	78
3.2.1 – Variabilità spaziale del tasso di deposizione e del deposito	113
 CONCLUSIONI	 119
 ALLEGATO I	 121
ALLEGATO II	138
 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	 167
 INDICE DELLE FIGURE	 170
 INDICE DELLE TABELLE.....	 173
 RINGRAZIAMENTI	 174

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....167

INDICE DELLE FIGURE170

INDICE DELLE TABELLE.....173

RINGRAZIAMENTI174

INTRODUZIONE

“L’inquinamento atmosferico fa male alla salute umana. Nelle città e regioni con un’alta concentrazione d’inquinamento l’aspettativa di vita delle persone si riduce, mediamente, dagli otto mesi ai due anni. Gli Stati Membri dell’Unione Europea hanno posto come obiettivo la definizione degli standard della qualità dell’aria in modo da ridurre in tempi brevi le emissioni atmosferiche inquinanti”. Così si apre il documento “Air quality in Europe” dell’European Environment Agency.

L’Unione Europea ha deciso di dichiarare il 2013 l’anno dell’aria pulita: quest’anno gli incontri sulle politiche ambientali si concentreranno sul tema dell’inquinamento dell’aria con nuove proposte per migliorarne la qualità in tutta l’Europa.

L’inquinamento atmosferico è determinato dalla presenza nell’aria di una o più sostanze indesiderate o estranee, in quantità tali da alterare la salubrità dell’aria stessa e da costituirne un pericolo per la salute.

In laboratorio è possibile studiare separatamente ogni sostanza ma risulta difficile attribuire ai singoli componenti inquinanti gli effetti che provocano sulla salute delle persone; infatti, ogni giorno, si è esposti a una complessa miscela di sostanze che possono anche interagire fra loro.

Gli inquinanti di maggior rilievo per le persone che vivono soprattutto nelle aree urbane, sono quelli derivanti prevalentemente dal traffico veicolare (ma anche dagli impianti di riscaldamento) ovvero: il particolato (soprattutto il particolato fine e ultrafine), il biossido di azoto, l’ozono, il monossido di carbonio, gli idrocarburi policiclici aromatici-IPA e il benzene.

Molti studi si sono concentrati sull’inquinamento da particolato (particulate matter o PM) volti a capirne la struttura, la composizione, l’origine, la tossicità e le conseguenze sulla salute umana, poiché rappresentano l’inquinante più omogeneamente disperso sul territorio.

A causa delle loro caratteristiche intrinseche, possono permanere per un tempo più o meno lungo in atmosfera, rappresentando un pericolo per la salute del genere umano, animale, e

vegetale. Esiste, infatti, una vasta letteratura scientifica che testimonia la pericolosità di tali sostanze sulla salute sia per brevi che per prolungati tempi di esposizione.

Gli effetti sulla salute umana sono stati ampiamente studiati ed è stata dimostrata una correlazione fra l'aumento della concentrazione in atmosfera e un incremento delle patologie polmonari e cardiovascolari. La ricerca clinica mostra infatti una relazione fra il deposito delle particelle nel polmone e le malattie all'apparato respiratorio.

Per questa ragione è uno degli inquinanti più monitorati al mondo.

Nonostante l'esistenza di una grande quantità di informazioni riguardanti la deposizione di particolato all'interno del tratto respiratorio, la determinazione della dose depositata dipende da diversi fattori. L'efficienza di deposizione è difficilmente determinata da una costante, in quanto dipende dal livello di attività fisica, dalla postura, dal sesso e dal modo di respirare. La deposizione cambia in modo critico nei diversi punti del tratto respiratorio.

IL PARTICOLATO ATMOSFERICO

1.1 - Definizione e classificazione del particolato

Con il termine particolato atmosferico s'intende un insieme di particelle, solide e liquide, con diametro compreso tra qualche nanometro (nm - equivalente a 10^{-9} metri) e decine-centinaia di micrometri (μm), che presentano caratteristiche fisiche e chimico-fisiche (dimensione, forma, composizione, densità) tali da consentire la loro sospensione in atmosfera per lunghi periodi (ore, giorni o anni).

Il particolato comprende un insieme eterogeneo di particelle di natura organica o inorganica, con caratteristiche generalmente molto diverse da particella a particella, la cui composizione può essere differente a seconda dell'ambiente di provenienza (es. città o campagna), del periodo dell'anno (mesi caldi o mesi freddi), delle fonti (traffico automobilistico, riscaldamento, emissioni industriali o agricole, particelle di suolo erose e trasportate dal vento) e può modificarsi nel tempo.

Il particolato è molto concentrato nella bassa atmosfera vicino alla sua sorgente primaria: la superficie terrestre. Tuttavia, neanche l'alta atmosfera è libera da queste particelle, poiché le correnti d'aria ascendenti possono trasportarle fino a grandi altezze. Da un punto di vista meteorologico, queste minuscole particelle possono essere importanti perché sono in grado di assorbire o riflettere la radiazione solare.

La dimensione della particella è un parametro molto importante per la descrizione del loro comportamento e della loro origine. La composizione chimica, la rimozione, il tempo di residenza sono, infatti, tutte caratteristiche correlate a questo parametro.

In base alla natura e alle dimensioni delle particelle possiamo distinguere (Marconi A., 1996):

- **aerosol**: particelle solide o liquide sospese in aria di diametro inferiore a 1 micron;
- **foschie**: particelle liquide con diametro inferiore a 2 micron;
- **esalazioni**: particelle solide con diametro inferiore ad 1 micron e in genere sono prodotte da processi chimici e metallurgici;
- **fumi**: particelle solide con diametro inferiore ai 2 micron e trasportate da miscele di gas;
- **polveri**: particelle solide con diametro fra 0,25 e 500 micron;
- **sabbie**: particelle solide con diametro superiore ai 500 micron.

Le particelle aerodisperse in atmosfera sono descritte facendo riferimento al diametro aerodinamico equivalente (d_{ae}), definito come il diametro di un'ipotetica particella sferica di densità unitaria (1 g/cm^3) avente un comportamento aerodinamico uguale a quello della particella in esame nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa.

Il diametro aerodinamico è convenzionalmente espresso in μm ed è quell'entità numerica che, unito all'acronimo PM (Particulate Matter), indica le dimensioni massime del particolato a cui si fa riferimento:

PM10: frazione di particolato raccolto da un sistema di campionamento secondo il quale le particelle con diametro aerodinamico uguale a $10 \mu\text{m}$ sono campionate con efficienza del 50%.

PM2.5: frazione di particolato raccolto da uno specifico sistema di campionamento tale per cui le particelle con diametro aerodinamico uguale a $2,5 \mu\text{m}$ sono campionate con efficienza del 50%; esse rappresentano circa il 60% del PM10.

PTS (particelle totali sospese): particelle di diametro aerodinamico inferiore a $100\mu\text{m}$ che sono in grado di restare in sospensione per un tempo sufficiente per essere campionate con un sistema di campionamento adeguato.

Si esegue un'ulteriore classificazione del particolato atmosferico in funzione del diametro aerodinamico nelle seguenti frazioni:

- **nanoparticelle:** particelle formate da aggregati atomici con diametro aerodinamico comprese fra 0,002 e 0,2 μm .
- **ultrafine:** particelle con diametro aerodinamico comprese tra 0,01 e 0,1 μm ; generalmente queste particelle sono costituite dai prodotti della nucleazione omogenea di vapori sovrasaturi (SO_2 , NH_3 , NO_x e prodotti della combustione) e tendono a diminuire in presenza di crescenti concentrazioni di granulometrie più elevate che fungono da elementi di rimozione sia direttamente dell'ultrafine per diffusione e impatto, che dei precursori gassosi per adsorbimento.
- **fine:** particelle con diametro aerodinamico comprese tra 0,1 e 2,5 μm ; la loro formazione avviene per coagulo di particelle ultrafini e attraverso i processi di conversione gas-particella, conosciuti anche come processo di nucleazione eterogenea, oppure per la condensazione di gas su particelle preesistenti nell'intervallo di accumulazione. La crescita oltre questa dimensione è lenta perché più grande è la particella, più lento è il suo movimento e meno probabile è il suo incontro e la sua coagulazione con particelle di dimensioni simili; inoltre il rapporto massa/superficie di particelle grandi è minore rispetto a quelle più piccole.

I maggiori costituenti di queste particelle nelle aree industrializzate sono i solfati, i nitrati, lo ione ammonio, il carbonio elementare e quello organico; a questi si aggiungono particelle di origine biologica come spore fungine, lieviti, batteri ecc.
- **grossolane:** diametro aerodinamico comprese tra 2,5 e 100 μm ; essenzialmente prodotte da processi meccanici (erosione, risospensione meccanica o eolica, macinazione), ed è quindi composta da elementi presenti nel suolo e nei sali marini; essendo inoltre relativamente grandi esse tendono a sedimentare in tempi di poche ore o minuti, ritrovandosi spesso vicino alle sorgenti di emissione in funzione della loro altezza.

La suddivisione del particolato in classi dimensionali è molto importante per misurare la sua concentrazione in aria: le particelle fini con diametro aerodinamico $< 1 \mu\text{m}$ hanno una concentrazione in atmosfera compresa tra 10 e 10.000 particelle/ cm^3 ; mentre quelle che superano 1 μm di diametro hanno una concentrazione minore di 10 particelle/ cm^3 .

La distribuzione dimensionale può essere rappresentata in termini di concentrazione numerica (distribuzione numerica), di concentrazione in massa delle particelle (distribuzione

massiva), di area superficiale delle particelle per unità di volume (distribuzione dell'area superficiale) e in ognuno di questi tipi di distribuzione, si possono osservare dei picchi, chiamati "mode". Passando dalla distribuzione dimensionale relativa al numero, a quella dell'area superficiale e a quella riguardante la concentrazione in massa, si osserva uno spostamento dei picchi verso valori di diametro maggiori.

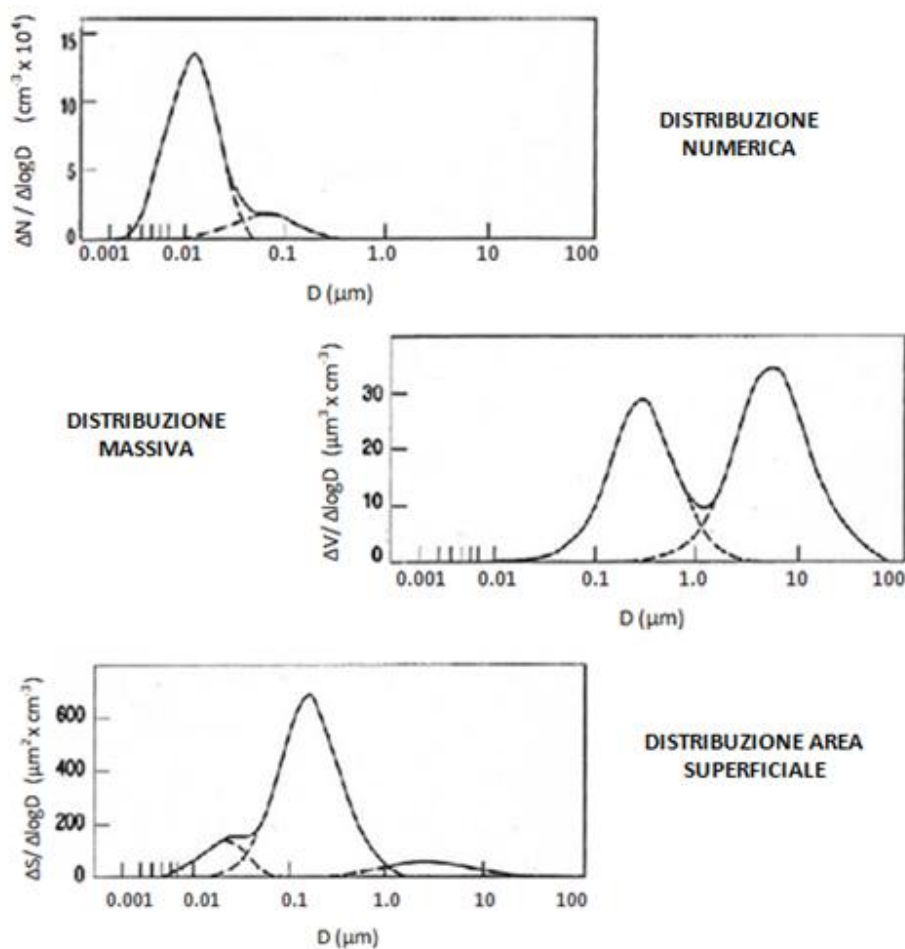


Figura 1 - Tipica distribuzione del numero, massa e superficie complessiva del particolato in funzione del diametro aerodinamico.

Dalle rappresentazioni di Figura 1 si può osservare che le particelle ultrafini dominano completamente la distribuzione della concentrazione numerica, mentre le particelle fini portano il contributo più importante nella concentrazione della superficie particellare. Infine le classi di dimensioni intermedie e grossolane sono quelle con il maggior peso nella misura

della concentrazione di massa, mentre le particelle con diametro equivalente minore di 0,1 μm sono normalmente poco significative in termini di massa.

Massa, concentrazione e superficie specifica sono le proprietà delle particelle che più interessano; queste incidono sul comportamento nell'aria. L'efficienza delle varie forze che agiscono sulle particelle e i processi ai quali sono soggette le particelle dipendono enormemente dalle proprietà fisiche, in particolare la dimensione è un elemento importante.

Le particelle con $d_{ae} < 2,5 \mu\text{m}$ rappresentano numericamente oltre il 95% delle particelle totali; quelle di dimensioni maggiori, in particolare con d_{ae} tra 5 e 50 μm , essendo più pesanti, rappresentano invece la maggior parte della massa del particolato presente in ambiente urbano. Se si considera la massa complessiva delle particelle, prevalgono quindi le classi di dimensione intermedia e maggiore.

1.2 – Origine e composizione del particolato

La presenza di particolato in atmosfera è legata a molteplici fenomeni, estremamente eterogenei e complessi. Gli elementi che concorrono alla formazione di aggregati sospesi nell'aria sono numerosi e vi sono inclusi sia fattori antropici sia naturali.

Le sorgenti di *origine antropica* sono molteplici. Rilevanti contributi derivano sicuramente dal traffico automobilistico che rappresenta, sotto varie forme, un'importante causa d'innalzamento dei livelli di particolato: per esempio dovuto agli scarichi dei motori, all'usura meccanica dei freni, dei pneumatici e del manto stradale. Altre sorgenti sono i processi di combustione di combustibili fossili, legno, rifiuti etc., e le attività produttive che generano emissioni di particolato di diversa natura e quantità, in base alla tipologia di materiali e di lavorazione effettuata.

Un'altra caratteristica tipica delle sorgenti antropiche è la concentrazione spaziale, che rende alcune zone maggiormente a rischio rispetto ad altre. Per questo motivo assume grande importanza il monitoraggio, la caratterizzazione di tali zone e la quantificazione del contributo dato da ciascuna sorgente, al fine di individuare provvedimenti specifici di controllo e di mitigazione.

Le fonti d'inquinamento industriali sono sempre meno presenti all'interno delle aree urbane, anche se gli inquinanti emessi da camini di altezza elevata possono essere trasportati dagli agenti meteorologici anche su grandi distanze. Parte dell'inquinamento "di fondo" riscontrato in una determinata città può dunque provenire da un'industria situata a diversi km di distanza dal centro urbano.

Nel grafico seguente sono rappresentati i vari contributi, in percentuale, delle emissioni di particolato atmosferico nella regione Lombardia: il contributo del traffico automobilistico è prevalente con una percentuale vicina al 50%, seguito dalla combustione non industriale con 25% e il 15% riguarda le emissioni dei processi produttivi.

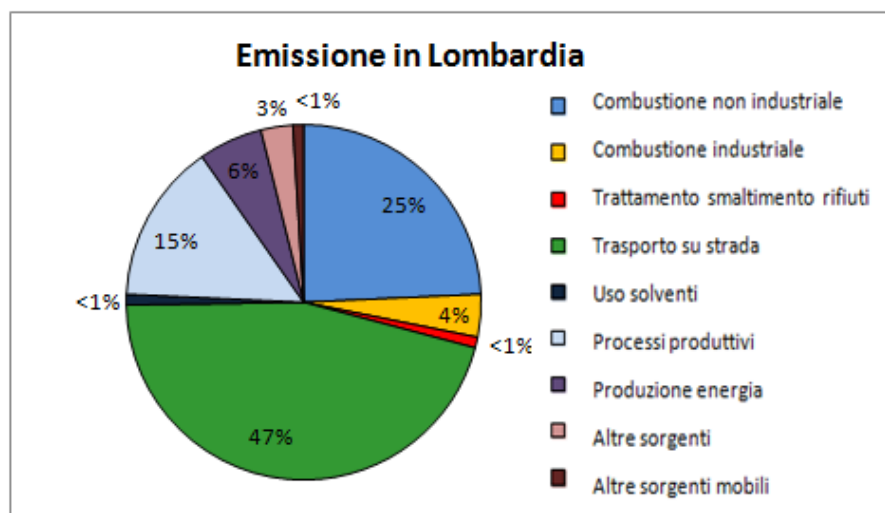


Figura 2 - Stima delle emissioni di PM10 in Lombardia.

Non meno importanti sono le *sorgenti naturali*, il cui controllo è praticamente impossibile. Fra esse ricordiamo le ceneri derivanti dalle eruzioni vulcaniche, l'effetto di erosione del vento sulle aree rocciose o desertiche, gli incendi naturali, l'aerosol marino, i resti degli insetti, ecc.

Si ritiene che le particelle grossolane siano introdotte nell'ambiente soprattutto a causa di fenomeni naturali, mentre quelle più fini derivino maggiormente dalle attività antropiche. A livello globale, le masse di particolato prodotte per cause naturali sono preponderanti rispetto a quelle prodotte dalle attività umane. Tuttavia le sorgenti antropiche sono in grado di immettere in atmosfera una maggior quantità di particelle contenenti sostanze tossicologicamente rilevanti per la salute e per l'ambiente.

In Italia, dalle informazioni riportate nell'Inventario nazionale delle emissioni del 2009, elaborato da ISPRA¹², risulta che il settore civile è la prima sorgente d'inquinamento per il PM₁₀, con un contributo del 35% sul totale; seguono i trasporti, con il 29% di cui poco più dei 2/3 provenienti da quello stradale, l'industria (16%) e l'agricoltura (11%). In particolare, circa il 91% delle emissioni di PM₁₀ da riscaldamento civile proviene dalla combustione delle biomasse.

Anche per il PM_{2.5} il settore civile è la principale fonte di emissione, con un contributo del 42%; segue il trasporto con il 32% (2/3 circa proviene dal trasporto stradale), l'industria (12%) e il settore relativo al trattamento e smaltimento dei rifiuti (7%).

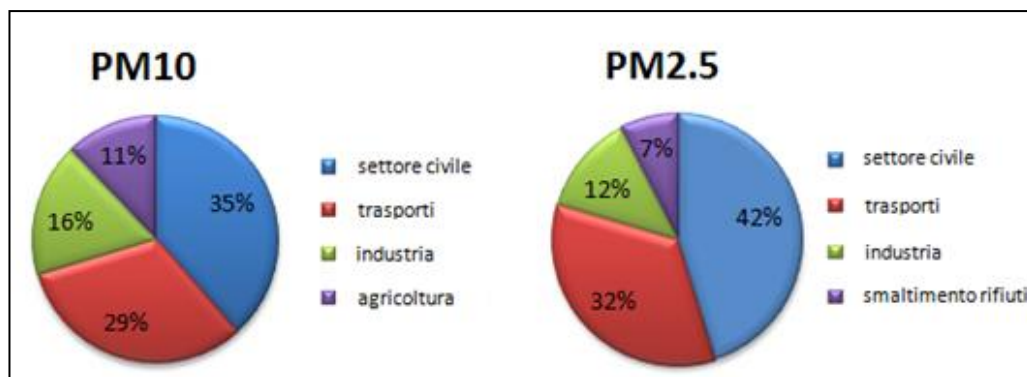


Figura 3- Fonti di emissioni di PM₁₀ e PM_{2.5}.

La dimensione delle particelle è un utile indicatore della loro provenienza. Le particelle ultrafini derivano dalle emissioni prodotte dal traffico veicolare, dall'utilizzo di combustibili utilizzati nelle diverse tipologie d'impianti per il riscaldamento, oltre che dall'industria petrolifera e in altri processi industriali, compresi gli impianti d'incenerimento e di trattamento dei rifiuti. Le emissioni prodotte dai processi di combustione sono però di gran lunga le maggiori responsabili.

Le particelle fini derivano essenzialmente da polveri generate dall'aggregazione di goccioline di nitrati e solfati, dalla coagulazione della fuliggine e dal particolato di dimensioni maggiori, originati dai processi di combustione. Infine le particelle, con diametro aerodinamico comprese tra 1 e 10 μm , sono prevalentemente costituite da materiali inerti derivanti dall'erosione o abrasione meccanica di materiali solidi di vario tipo così come da elementi biologici quali pollini, spore e batteri.

Una volta che le particelle di aerosol hanno raggiunto l'atmosfera, vanno incontro a un'evoluzione ad opera di diversi meccanismi, quali condensazione, evaporazione, coagulazione e attivazione; inoltre, le specie chimiche che compongono gli aerosol possono essere coinvolte in vari tipi di reazioni chimiche. Alla fine, le particelle di aerosol potranno essere definitivamente rimosse per deposizione secca o umida.

La permanenza in atmosfera è fortemente condizionata dalla natura dei venti, dalle precipitazioni e dalle dimensioni delle particelle. In quest'ultimo caso le particelle con un diametro superiore a 50 μm , visibili in aria, sedimentano piuttosto velocemente causando fenomeni d'inquinamento su scala molto ristretta, mentre le più piccole possono rimanere in sospensione per molto tempo; alla fine gli urti casuali e la reciproca attrazione le faranno collidere e riunire assieme raggiungendo così dimensioni tali da acquistare una velocità di caduta sufficiente a farle depositare al suolo. Il trasporto a lunga distanza, invece, è governato principalmente dall'azione del vento.

Nonostante la loro eterogeneità, la velocità di sedimentazione si mantiene sempre molto bassa. Questo comporta un lungo tempo di permanenza in atmosfera, dell'ordine di giorni, settimane o mesi, in modo fortemente legato a fattori quali le condizioni meteorologiche e alla conformazione geologica del territorio.

Il particolato può essere classificato anche in base ai processi che lo hanno generato. Il *particolato primario* è emesso in atmosfera direttamente nella sua forma finale da sorgenti identificabili e dunque sarà molto concentrato nella zona circostante al suo punto di emissione. Al contrario, il *particolato secondario* è prodotto da fenomeni spesso non completamente noti, che hanno le loro origini nella chimica-fisica dell'atmosfera e che si sviluppano con processi di condensazione di molecole presenti in fase gassosa seguito dalla nucleazione e dalla coagulazione, fino a formare aerosol con diametri compresi tra 0,1 μm e 1 μm .

Nella tabella 1 è riportata una tabella riassuntiva delle sorgenti di particolato in relazione alla sua classificazione dimensionale.

Tabella 1 - Le sorgenti del particolato atmosferico.

Tipo di particolato	Sorgenti antropiche		Sorgenti naturali	
	Primario	Secondario	Primario	Secondario
Fine	Uso di combustibili fossili	Ossidazione di SO ₂	Spray marino	Ossidazione di SO ₂ e H ₂ S emessi da incendi e vulcani
	Emissioni di autoveicoli	Ossidazione NO _x	Erosione rocce	Ossidazione di NO _x prodotto dal suolo
	Polveri volatili	Emissione di NH ₃ da agricoltura e allevamento	Incendi boschivi	Emissione NH ₃ da animali selvatici
	Usura di pneumatici e freni	Ossidazione d'idrocarburi emessi dagli autoveicoli		Ossidazione d'idrocarburi emessi dalla vegetazione

Grossolano	Polveri volatili da agricoltura		Erosione rocce	
	Spargimento di sale		Spray marino	
	Usura asfalto		Frammenti di piante e insetti	

Le caratteristiche chimico-fisiche del particolato atmosferico dipendono soprattutto dal tipo di meccanismo di formazione e dal tipo di sorgente. Su scala ridotta le dinamiche delle particelle aerodisperse primarie sono influenzate dalla diffusione Browniana e dalla coagulazione, mentre, su più larga scala, dai processi di miscelazione atmosferica.

Le proprietà degli aerosol sono soggette a continui cambiamenti a causa di numerosi processi di natura chimica e fisica.

La formazione di materiale particellare secondario attraverso reazioni chimiche può avvenire per mezzo di diversi meccanismi: processi di nucleazione, di condensazione e di coagulazione.

Durante il processo di nucleazione si originano particelle di dimensioni maggiori a partire da quelle fini e dai radicali in fase gassosa presenti in atmosfera, che si aggregano per costituire particelle più grandi. Il processo dipende fortemente dalla concentrazione dei precursori gassosi e da parametri come l'umidità relativa e la temperatura.

La condensazione riguarda la formazione di aerosol secondario per adesione di composti a bassa tensione di vapore su particelle preesistenti. Nel caso in cui la concentrazione delle particelle è sufficientemente alta, questo processo predomina su quello di nucleazione. La condensazione di vapori a bassa volatilità su particelle preesistenti dipende da diversi fattori, come la velocità di collisione del gas con la superficie, la probabilità di cattura per collisione e le dimensioni della particella. Questo processo coinvolge principalmente le particelle con diametro compreso tra 0,1 μm e 1 μm .

L'altro fenomeno che porta all'accrescimento delle particelle dell'aerosol atmosferico è la coagulazione, che coinvolge sia particelle solide che liquide, le quali interagiscono con quelle prodotte dalla nucleazione. Il risultato di questa interazione porta a un accrescimento ulteriore delle loro dimensioni. Tali processi dipendono dal diametro della particella e dalla sua concentrazione.

Nella figura 4 (Marconi A., 2003) viene rappresentata la distribuzione delle particelle aerodisperse in funzione delle loro dimensioni, la loro origine, la reazione dinamica tra le particelle di diversa dimensione e i principali processi che influenzano la loro concentrazione.

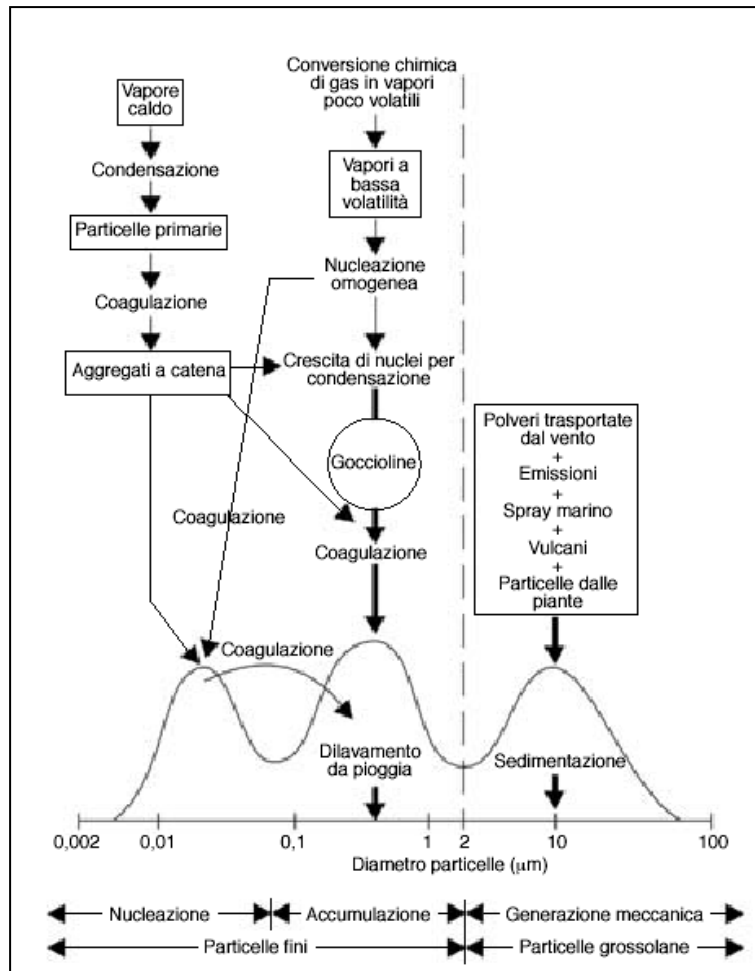


Figura 4 - Rappresentazione schematica della distribuzione dimensionale in termini di massa delle particelle aerodisperse, dell'origine e della reazione dinamica tra le particelle e il mezzo in cui sono sospese (Marconi A., 2003).

Il diagramma mostra come il diametro delle particelle sia strettamente connesso ai processi di formazione dell'aerosol.

Le particelle grossolane, generalmente prodotte da processi meccanici di tipo naturale come il vento o l'erosione, assumono dimensioni relativamente grandi e vengono rimosse dall'atmosfera per sedimentazione. La composizione chimica, che riflette quella della sorgente da cui si sono originate, è costituita prevalentemente da composti inorganici. Anche la maggior parte delle particelle di origine biologica, come spore o pollini, si trova in questo intervallo. A causa delle loro dimensioni, queste particelle sono rimosse dall'atmosfera in tempi relativamente rapidi. Esistono però meccanismi che agiscono a larga

scala, in grado di trasportare, in particolari condizioni meteorologiche, particelle grossolane attraverso lunghe distanze.

Le particelle appartenenti all'intervallo di accumulazione, derivano dalla condensazione di vapori con bassa volatilità e dalla coagulazione di particelle di piccole dimensioni (situazione maggiormente diffusa). Generalmente questo tipo di particelle contiene una maggior quantità di sostanza organica e composti inorganici solubili, come nitrati e solfati di ammonio, rispetto al materiale particellare grossolano. Le particelle appartenenti a questo intervallo rappresentano una porzione relativamente piccola del numero totale di particelle, ma una percentuale significativa della massa dell'aerosol. La rimozione non avviene per deposizione gravitazionale ma per collisione con superfici, di conseguenza il tempo di residenza in atmosfera risulta molto più lungo rispetto quello del materiale particellare grossolano. Questa caratteristica, unita agli effetti sulla visibilità e sulla salute, rende queste particelle di grande importanza per la chimica dell'atmosfera.

Le particelle presenti nell'intervallo di nucleazione sono originate da reazioni di conversione gas-particella che avvengono in troposfera a temperatura ambiente. Queste particelle si formano per condensazione di specie gassose con bassa tensione di vapore, portando a un aumento delle dimensioni verso l'intervallo di accumulazione. In alternativa, possono ingrandirsi attraverso la coagulazione. Questa frazione contiene la maggior parte del numero totale di particelle, ma una porzione relativamente piccola della massa a causa delle ridotte dimensioni. Il tempo di residenza di queste particelle è breve, qualche volta dell'ordine di minuti, a causa della coagulazione rapida.

Le particelle con diametro inferiore a $0,002\ \mu\text{m}$ sono generate da processi di conversione gas-particella non ancora ben chiari a livello molecolare. Sebbene siano sufficientemente piccole da non avere un grosso peso sulla massa totale, sono presenti in alte concentrazioni e possono raggiungere gli alveoli polmonari dell'apparato respiratorio umano. Quindi, se gli effetti tossicologici sono determinati principalmente dal numero di particelle, piuttosto che dalla massa, queste particelle risultano essere di fondamentale importanza.

Il particolato è caratterizzato da una composizione chimica molto eterogenea e in linea generale, è costituito da una componente carboniosa e da ioni inorganici, oltre che elementi come aerosol marini, acqua e materiale biologico (pollini, batteri, spore, frammenti vegetali e animali).

La parte organica del particolato è costituita da carbonio elementare (emesso direttamente dall'atmosfera mediante processi di combustione) e da molecole organiche derivanti soprattutto dall'ossidazione dei prodotti di combustione.

Una parte del particolato organico è emesso dal traffico veicolare ed è costituito da sostanze alcani, benzaldeidi e idrocarburi policiclici aromatici.

Le particelle fini sospese nell'atmosfera sono costituite da composti inorganici dello zolfo (dimetilsolfuro ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) e disolfuro di carbonio CS_2), dell'acido nitrico (HNO_3) e dell'azoto. L'evoluzione di tali molecole in un contesto ossidativo, quale è l'atmosfera, porta alla formazione di composti come lo ione solfato SO_4^{2-} e gli ossidi di zolfo SO_x . Le specie che si formano in maggiore quantità per ossidazione dei composti solforati sono l'acido solforico H_2SO_4 e gli ioni solfato SO_4^{2-} .

All'interno del particolato si possono rintracciare inoltre numerosi altri ioni metallici e non metallici originati da diverse sorgenti come l'alluminio, il ferro, il cloro, il piombo e lo zinco.

La composizione delle particelle dipende dalla loro natura, dai processi di genesi e di trasformazione che queste hanno subito ma anche dalla loro provenienza.

Secondo alcuni studi recenti sulla qualità dell'aria nell'area milanese, si sono acquisite alcune informazioni essenziali sulla differente composizione del particolato grossolano (PM_{10}) e fine ($\text{PM}_{2.5}$).

Si distinguono tre gruppi principali: la frazione carboniosa (TC) composta dal carbonio organico e quello elementare, gli ioni inorganici (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+), ed infine una frazione che spesso corrisponde all'acqua ma non solo.

Dal confronto tra la composizione del $\text{PM}_{2.5}$ e PM_{10} (Figura 5) emerge che la frazione carboniosa è presente in quantità elevata in entrambi i casi (43% - 45%). La parte inorganica delle polveri (minerali e gli elementi in traccia) a minore valenza tossicologica è maggiormente presente nel PM_{10} ; mentre nel $\text{PM}_{2.5}$ i solfati e i nitrati di ammonio rappresentano circa il 40% del particolato raccolto.

Da qui la tendenza a valutare con crescente interesse frazioni più fini rispetto al PM_{10} , in particolare il $\text{PM}_{2.5}$.

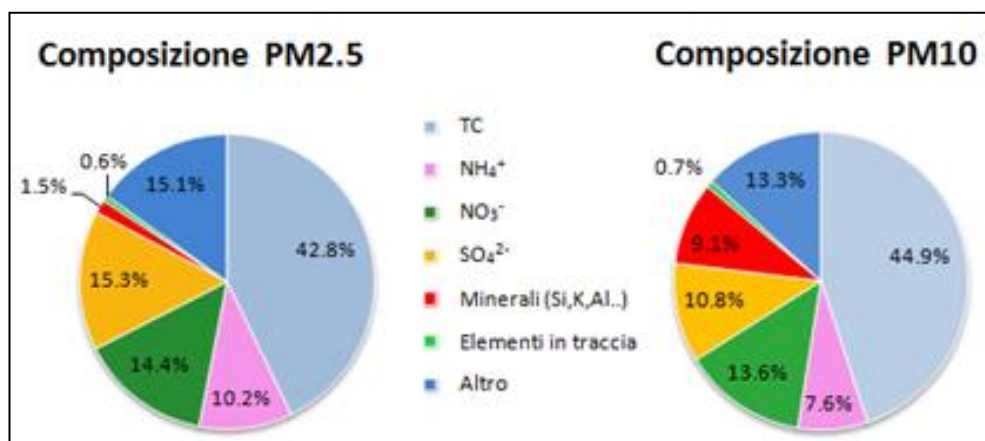


Figura 5 - Composizione del particolato atmosferico a Milano.

1.3 – Concentrazione degli inquinanti atmosferici

Lo sviluppo economico, industriale e demografico avvenuto nel corso degli ultimi due secoli, oltre a un miglioramento della qualità della vita dell'uomo, ha provocato profondi e rapidi mutamenti nell'ambiente.

Enormi quantità di sostanze inquinanti provenienti principalmente da processi di combustione (trasporto, riscaldamento domestico, produzioni industriali, ecc.) continuano a essere riversate nell'atmosfera raggiungendo concentrazioni pericolose per la salute dell'uomo e per l'equilibrio degli ecosistemi.

Le emissioni di inquinanti nel corso degli ultimi vent'anni in Europa e in Italia sono fortemente diminuite.

La qualità dell'aria, seppur migliorata (il biossido di solfo, l'ossido di carbonio, il benzene e il piombo non costituiscono attualmente un problema, se non a livello locale e in specifiche circostanze), continua a essere un'emergenza per gli elevati livelli di alcuni inquinanti che si continuano a registrare in atmosfera e per la conseguente esposizione a essi della popolazione.

L'inquinamento atmosferico è riconosciuto come uno dei principali fattori di rischio ambientale per la salute umana.

L'emergenza riguarda in particolar modo le grandi aree urbane, dove è massima l'antropizzazione del territorio, e risultano elevati sia i livelli d'inquinanti sia l'esposizione

della popolazione agli inquinanti atmosferici.

Gli inquinanti che continuano a essere un problema in Italia e in Europa, sono il particolato atmosferico, PM10 e PM2.5, l'ozono, entrambi riconosciuti come i maggiori responsabili degli effetti sulla salute umana, e il biossido di azoto NO₂.

In Italia fino ad oggi le politiche messe in campo per migliorare la qualità dell'aria hanno avuto effetto solo su alcuni inquinanti atmosferici, mentre per altri le emissioni sono rimaste pressoché invariate negli ultimi 10 anni.

I dati annuali sulle emissioni in atmosfera, disaggregati per settori, sono gestiti dall'ISPRA (Istituto Superiore Per la Ricerca Ambientale) e attualmente sono disponibili i valori di emissioni fino al 2010. Per evidenziare l'andamento delle emissioni in Italia sono stati analizzati i dati delle serie storiche delle emissioni forniti dall'ISPRA relativa all'ultimo decennio disponibile (dal 2000 al 2010).

Tabella 2 - Variazione delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici tra il 2000 e il 2010.
Fonte: Elaborazione Legambiente dati ISPRA – SINAnet Rete del sistema Informativo Nazionale Ambientale.

Inquinante	2000	2010	variazione (%)
IPA (Kg)	115.020,72	152.627,68	32,7%
Benzene (Mg)	18.933,50	7.078,99	-62,6%
PM10 (Mg)	208.970,78	202.063,62	-3,3%
PM2.5 (Mg)	178.059,03	173.207,57	-2,7%
CO2 (Mg)	462.485.087,54	426.086.644,32	-7,9%
CH4 (Mg)	2.180.924,77	1.788.288,63	-18,0%
N2O (Mg)	127.706,97	87.798,39	-31,3%
CO (Mg)	4.856.674,95	2.710.995,19	-44,2%
NOx (Mg)	1.431.155,58	965.975,31	-32,5%
NM VOC (Mg)	1.620.132,39	1.102.514,96	-31,9%
SOx (Mg)	749.479,24	210.147,38	-72,0%
NH3 (Mg)	448.580,65	379.026,00	-15,5%

Per alcuni inquinanti, come il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di zolfo (SO_x) e il benzene (C₆H₆) nell'ultimo decennio le emissioni si sono ridotte notevolmente (44% in meno per il CO e 72% per gli SO_x e 63% per il benzene) per effetto di una migliore tecnologia applicata riguardante i sistemi di filtri captatori dei fumi all'atmosfera. Mentre altri inquinanti come PM10, PM2.5, CO₂ mantengono un andamento pressoché costante, a dimostrazione che gli interventi e le politiche messe in campo fino ad oggi hanno avuto scarsa efficacia presentando ancora oggi concentrazioni elevate nell'aria delle nostre città.

Le emissioni di polveri fini (PM10 e PM2.5), ad esempio, non si sono ridotte in maniera evidente in Italia nel decennio analizzato (2000 – 2010): solo il 3,3% per il PM10 e solo il 2,7% per il PM2.5. Tra le cause di questo andamento c'è la complessità delle fonti di emissione di questo inquinante e dei processi che causano la sua presenza in atmosfera.

Analizzando per esempio il contributo del traffico veicolare per la formazione delle polveri sottili, si nota come il continuo miglioramento dell'efficienza dei motori abbia ridotto i consumi di carburante e le quantità di emissioni di alcuni tipi d'inquinanti come la CO, ma ha di fatto aumentato le concentrazioni di altri tipi di gas che si sono rilevati precursori dei materiali particolati di origine secondaria.

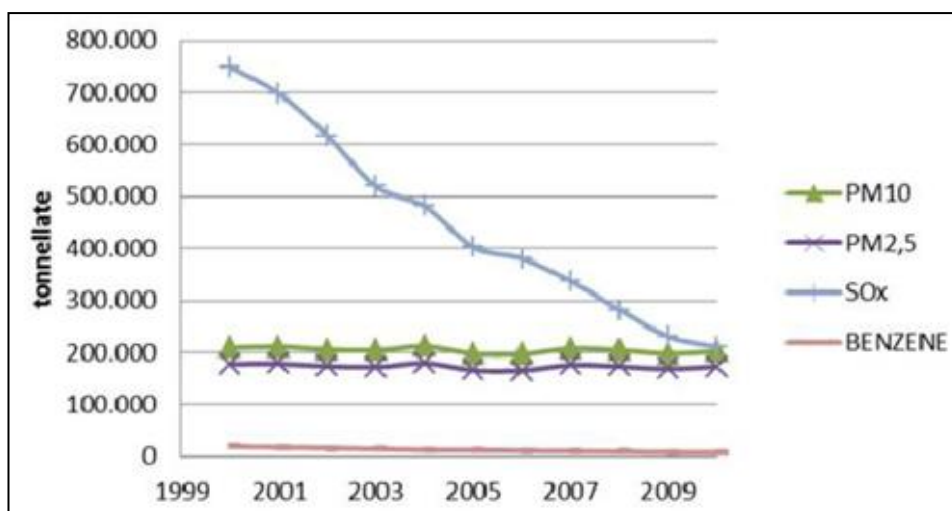


Figura 6 - Andamento delle emissioni di alcuni composti inquinanti dal 2000 al 2010 con emissioni inferiori al milione di tonnellate/anno.

Nella figura seguente è rappresentato l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e PM2.5 rilevate nel corso del mese di dicembre 2012 nelle diverse stazioni della rete ARPA situate nel Comune di Milano - evidenziandone la tipologia (fondo, traffico) - a confronto con il valore limite.

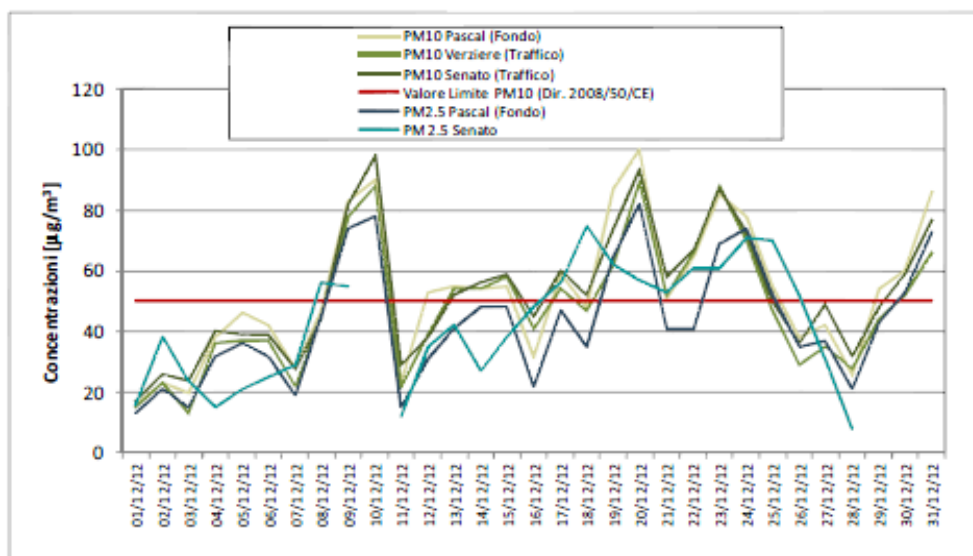


Figura 7 - Andamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e PM2.5 nel mese di dicembre 2012.

Confrontando i dati di PM10 misurati nel mese di dicembre degli ultimi 11 anni si può osservare come la concentrazione media urbana del mese di dicembre 2012 sia la più bassa mai registrata dal 2002, inferiore del 28% rispetto al dato medio al 2011 (pari al 71 mg/m^3) e inferiore del 31% rispetto al valore dell'anno precedente.

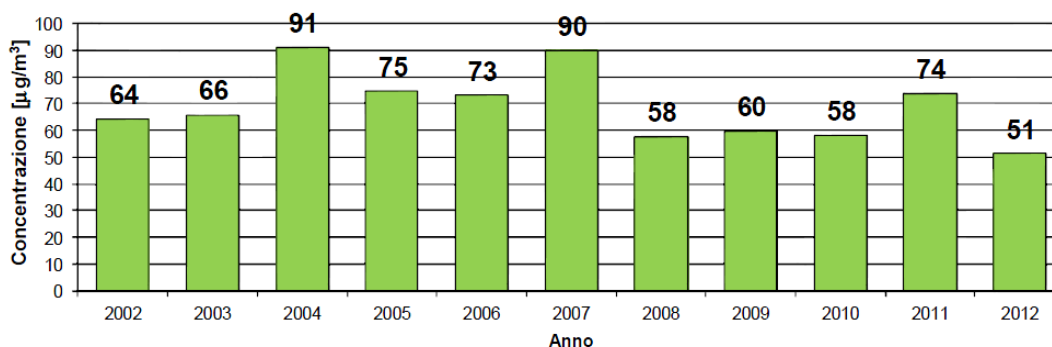


Figura 8 - Concentrazione media di PM10 nel mese di dicembre dal 2002 al 2012.

Per quanto riguarda le medie mensili, nel corso del 2012 il mese di dicembre ha evidenziato rispetto al precedente mese di novembre una variazione pari a:

- +6% per il PM10,
- -2% per il PM2.5

e rispetto al mese di dicembre dell'anno 2011 una variazione pari a:

- -31% per il PM10,
- -25% per il PM2.5

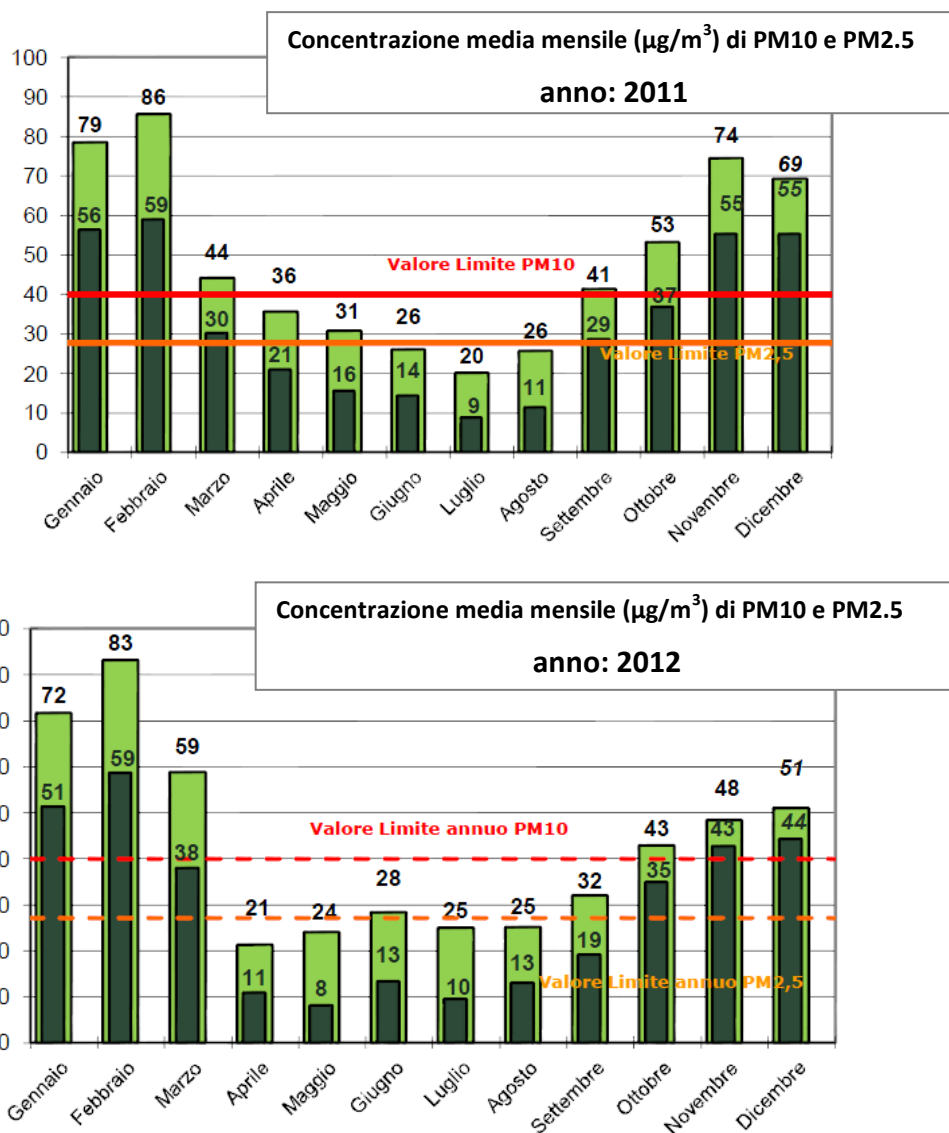


Figura 9 - Concentrazione media mensile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10 e PM2.5 negli anni 2011 e 2012. Elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio s.r.l. su dati e previsioni ARPA Lombardia.

La normativa europea e nazionale in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambientale è in continua evoluzione.

La legislazione italiana, con il decreto ministeriale 60 del 2 aprile 2002 (attuazione delle direttive 99/30/CE e 00/69/CE) fissa i valori limite e le soglie di allarme per una serie di agenti inquinanti (biossido di zolfo, biossido di azoto e ossidi di azoto, materiale particolato, piombo, benzene e monossido di carbonio). Tale decreto prevede per il PM₁₀ un valore limite giornaliero di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte per anno civile e un valore limite annuale pari a 40 µg/m³.

Il Decreto prevede nella fase 2, a partire dal 2005, che i valori limite diventino rispettivamente di 20 µg/m³ per la media annuale e 50 µg/m³ per la media giornaliera da non superare più di 7 volte in un anno da raggiungere entro il 2010, precisando tuttavia che si tratta di valori limite.

In Tabella 3 si riassumono i valori limite descritti nell'Allegato III del D.M. 60/2002.

Tabella 3 - Valori limite delle concentrazioni di PM₁₀-D.M. 60/2002.

	Periodo di mediazione	Valori limiti	Data alla quale il valore deve essere raggiunto
FASE 1			
Valore limite di 24h per la protezione della salute umana	24 h	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte all'anno	1/01/2005
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³	
FASE 2			
Valore limite di 24h per la protezione della salute umana	24 h	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte all'anno	1/01/2010
Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	20 µg/m ³	

La constatazione della difficoltà nel rispettare gli obiettivi normativi nei tempi previsti da parte di molti stati europei, ha portato all'inserimento nella Direttiva 2008/50/CE (art.22) la possibilità di chiedere una deroga all'applicazione dei valori limite del PM₁₀, (in vigore già dal 1° gennaio 2005) fino all'11 giugno 2011.

Come ogni anno anche nel 2012 in tutte le principali città italiane sono stati superati i livelli di polveri fini (PM₁₀). Sono 52 le città, tra le 95 monitorate da Legambiente che hanno

superato il bonus di 35 giorni di superamento del valore medio giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stabilito dalla legge. Alessandria, Frosinone, Cremona e Torino sono le prime città classificate, rispettivamente con 123, 120 e 118 giorni di superamento. Tra le prime dieci città anche Milano con 106 giorni di superamento. In generale è l'area della Pianura Padana a confermarsi come la zona più critica con 18 città tra le prime 20 posizioni che ricadono nelle regioni di Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna e Veneto.

Tabella 4 - PM10: classifica dei capoluoghi di provincia che hanno superato la soglia limite di polveri sottili in un anno.
Fonte: elaborazione Legambiente su dati ARPA Regionali.

<i>Posizione</i>	<i>Capoluogo di Provincia (centralina peggiore)</i>	<i>Giorni di superamento 2012</i>	<i>Posizione</i>	<i>Capoluogo di Provincia (centralina)</i>	<i>Giorni di superamento 2012</i>
1	Alessandria (D'Annunzio)	123	21	Bologna (Porta S. Felice)	73
2	Frosinone (Frosinone scalo)	120	22	Piacenza (via Giordani)	71
3	Cremona (Via Fatebenefratelli)	118	23	Firenze (Mosse)	68
3	Torino (Consolata)	118	24	Ravenna (via Caorle)	66
4	Parma (Via Montebello)	115	25	Cagliari (P.zza Sant'Avendrace)	64 (al 16 dicembre)
5	Vicenza (VI Quartiere Italia)	114	25	Lodi (V.le Vignati)	64
6	Brescia (Villaggio Sereno)	106	26	Pescara (V.le Bovio)	62
6	Milano (Pascal Città studi)	106	26	Terni (Le Grazie)	62
7	Verona (Borgo Milano)	103	27	Ancona (via Bocconi)	61
8	Bergamo (via Garibaldi)	99	28	Como (V.le Cattaneo)	58
9	Asti (Baussano)	97	29	Roma (C.so Francia)	57
10	Monza (via Machiavelli)	96	30	Palermo (Di Blasi)	55
11	Reggio Emilia (V.le Timavo)	93	31	Lucca (Micheletto)	54
12	Mantova (S. Agnese)	90	32	Forlì (via Roma)	52
13	Padova (Mandria)	91	33	Biella (Lamarmora)	50
13	Benevento (Via Floria)	91	34	Varese (via Copelli)	48
13	Rovigo (Centro)	91	35	Trieste (Via Carpineto)	45
14	Rimini (Flaminia)	88	36	Lecco (via Amendola)	44
14	Treviso (via Lancieri)	88	37	Pordenone (centro)	43
15	Napoli (Ente Ferrovie)	85	38	Prato (Roma)	42
15	Modena (Giardini)	85	39	Latina (via Romagnoli)	41
16	Novara (Roma)	84	40	Cuneo (Alpini)	40
17	Pavia (P.zza Minerva)	83	41	Aosta (via Primo Maggio)	39
18	Vercelli (Gastaldi)	79	42	Trento (via Bolzano)	38
19	Ferrara (C.so Isonzo)	77	43	Sondrio (via Mazzini)	36
20	Venezia (Parco Bissuola)	76			

Oltre al PM10, con l'entrata in vigore del Decreto legislativo 155/2010, le città sono obbligate a monitorare anche la frazione più leggera e più pericolosa delle polveri, il PM2.5. Dal 2011 in particolare, questo monitoraggio è diventato obbligatorio ed è entrato in vigore il decreto che fissa al 2015 il raggiungimento del valore obiettivo di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come limite

medio annuo. E' inoltre prevista una seconda fase da raggiungere entro il primo gennaio 2020 in cui il valore limite diminuirà a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Anche se i dati sul PM2.5 iniziano ad essere maggiormente diffusi e reperibili, le centraline urbane che rilevano questo parametro sono ancora poche e soprattutto sono poche le città di cui sono disponibili e consultabili dati aggiornati.

Tra le 42 città monitorate, i valori del PM2.5 sono fuori norma in 22 città. Al primo posto ancora una volta le città dell'area padana: Torino, Padova, Milano e Brescia con un valore medio annuo compreso tra 35 e 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 5 - PM2.5: Città che hanno superato il valore obiettivo di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale.
Fonte: elaborazione Legambiente su dati ARPA Regionali.

<i>n°</i>	<i>Città (centralina)</i>	<i>Valore medio annuo (2011)</i>	<i>n°</i>	<i>Città</i>	<i>Valore medio annuo (2011)</i>
1	Torino (Lingotto)	35	12	Vercelli (Coni)	28
2	Padova (Mandria)	34	13	Verona (Cason)	28
3	Milano (via Pascal)	33	14	Bergamo (via Meucci)	27
4	Brescia (V.ggio Sereno)	32	15	Piacenza (P.co Montecucco)	27
5	Vicenza (Quartiere Italia)	31	16	Novara (Verdi)	26
5	Rovigo (Centro)	31	17	Varese (via Copelli)	26
7	Treviso (via Lancieri)	31	18	Roma (C.so Francia)	26
8	Cremona (Fatebenefratelli)	31	19	Reggio Emilia (S. Lazzaro)	25
9	Venezia (P.co Bissuola)	30	20	Frosinone (Mazzini)	25
10	Alessandria (Volta)	30	21	Modena (P.co Ferrari)	25
11	Asti (D'Acquisto)	29			

È stata la stessa Comunità Europea chiedere all'Italia misure risolutive per ridurre l'inquinamento atmosferico. Il 19 dicembre 2012 è arrivata la sentenza da parte della Corte di Giustizia Europea che ha accolto il ricorso presentato dalla Commissione europea per l'inadempienza dell'Italia.

1.4 – Effetti del particolato sulla salute umana

Numerosi studi collocano il particolato atmosferico fra i principali fattori di rischio per la salute. Tutta la popolazione è soggetta all'esposizione a inquinamento atmosferico poiché è inevitabile inalare del particolato.

La Banca Mondiale ha stimato che l'esposizione a livelli di particolato atmosferico superiori ai limiti indicati dalla World Health Organization (WHO) è responsabile di circa il 2-5% di tutte le morti nelle aree urbane dei paesi in via di sviluppo. Anche in paesi sviluppati, quali Austria, Francia e Svizzera, si stima che l'inquinamento ambientale associato al PM10

provochi il 6% della mortalità totale e che circa la metà delle emissioni sia dovuta al traffico veicolare.

Vari studi epidemiologici hanno evidenziato importanti associazioni tra le concentrazioni in massa di PM₁₀ e PM_{2.5} e l'incremento della mortalità e dei ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie.

Il principale organo bersaglio del particolato atmosferico è il sistema respiratorio, dove le particelle sospese sono convogliate durante la respirazione.

Le particelle che sono inalate nel corpo umano dipendono dalle proprietà delle particelle, dalla sua frequenza respiratoria e dal tipo di respirazione, nasale o orale. Le particelle inalate si possono poi depositare in qualche punto del tratto respiratorio, oppure possono essere esalate.

Principale criterio di classificazione della pericolosità del particolato è la dimensione delle particelle, in quanto dal diametro aerodinamico dipende la capacità di penetrazione nelle vie respiratorie.

Vengono così distinte tre frazioni di particolato:

- frazione inalabile: è la frazione delle particelle che entra nel corpo attraverso il naso e la bocca durante la respirazione. Questa frazione è considerata importante per gli effetti sulla salute, poiché le particelle si depositano ovunque nel tratto respiratorio. Non si prende in considerazione le particelle sopra i 20 µm come parte inalabile.
- frazione toracica: è la frazione delle particelle che può penetrare nei polmoni sotto la laringe raggiungendo la regione tracheo-bronchiale. Questa frazione può essere messa in relazione con effetti sulla salute che nascono dal deposito di particolato nei condotti d'aria dei polmoni.
- frazione respirabile: è la frazione delle particelle inalabile che può penetrare in profondità negli alveoli polmonari. Questa frazione può portare a effetti sulla salute dovuti al deposito di particelle nella regione alveolare dei polmoni.

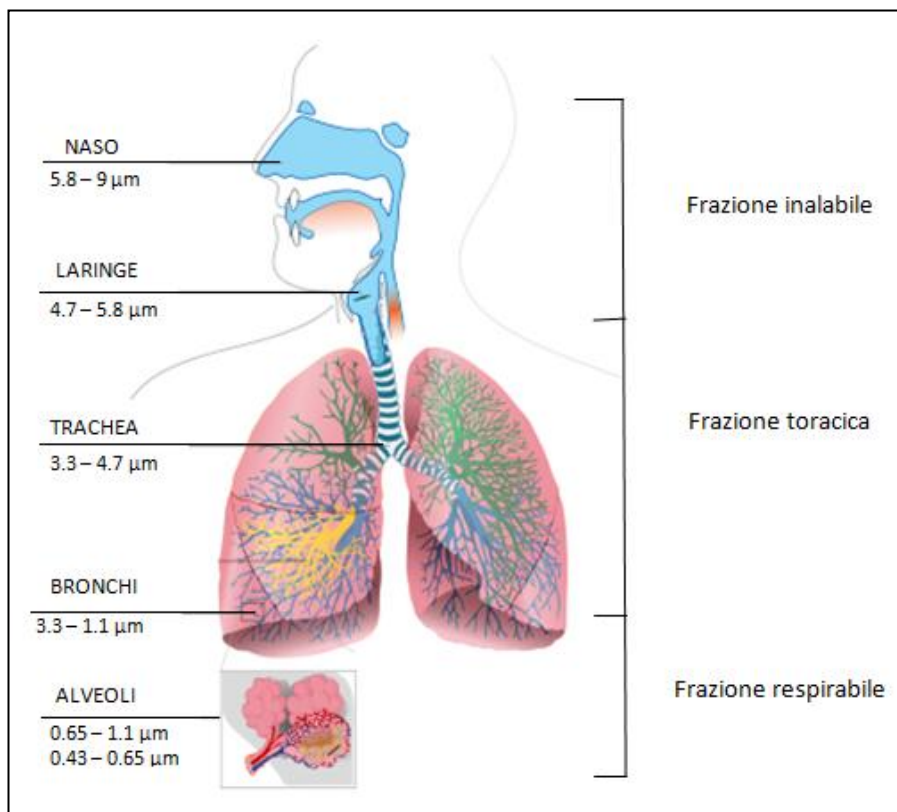


Figura 10 - Profondità di penetrazione del particolato nel sistema respiratorio in funzione della granulometria.

Il PM₁₀ e il PM_{2.5} sono assimilabili rispettivamente alla frazione toracica e respirabile.

A prescindere dalla tossicità, le particelle che possono produrre effetti negativi sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni più ridotte, mentre quelle maggiori di 15 µm vengono generalmente rimosse dal naso. Man mano che si procede dal naso o dalla bocca attraverso il tratto tracheo-bronchiale sino agli alveoli, diminuisce il diametro delle particelle che penetrano e si depositano.

L'apparato respiratorio umano è dotato di sistemi di autodifesa e di auto depurazione contro le sostanze estranee che penetrano in esse: la trachea, i bronchi e i bronchioli sono ricoperti da una mucosa, costituita soprattutto da cellule cigliate e da cellule caliciformi, che secernono muco.

Le ciglia delle cellule si muovono a onda, in modo da trasportare la sottile patina di muco e le sostanze estranee che vi restano attaccate verso la cavità orale, dove vengono inghiottite.

Negli alveoli, cioè le parti più profonde dei polmoni, la funzione di ripulitura è svolta da cellule chiamate macrofagi, che sono delle cellule che mangiano e smaltiscono i batteri penetrati nell'organismo, nonché i resti di cellule distrutte.

Le particelle più grandi sono bloccate nelle narici o nel tratto iniziale della trachea. Quelle più sottili si diffondono oltre le vie aeree ciliate, giungendo in profondità fino a bronchi, bronchioli ed alveoli, mentre quelle ultrafini si depositano in modo significativo sia nelle regioni alveolari che in quelle tracheo-bronchiali. Le particelle ultrafini, a causa della loro maggiore superficie specifica rispetto a quelle più grandi, costituiscono i siti preferenziali di adsorbimento delle sostanze tossiche. Inoltre possono interagire maggiormente con i tessuti, fino ad essere assorbite nei tessuti polmonari ed entrare nella circolazione sanguigna, raggiungendo così anche altri organi.

Le sostanze nocive che penetrano nelle vie aeree possono, sia a seguito di esposizioni acute che di esposizioni croniche, danneggiare in vario modo tutti questi meccanismi di difesa.

Particelle liquide o solubili possono essere assorbite dai tessuti in qualsiasi punto e provocare danni estesi nella zona colpita; particelle insolubili vengono trasportate, in base alle loro dimensioni, verso altre parti del tratto respiratorio o del corpo, dove possono essere assorbite o provocare danni biologici.

Nel grafico seguente sono presentate in modo sintetico le curve di deposizione delle particelle inalate nelle varie regioni dell'apparato respiratorio in funzione delle loro dimensioni.

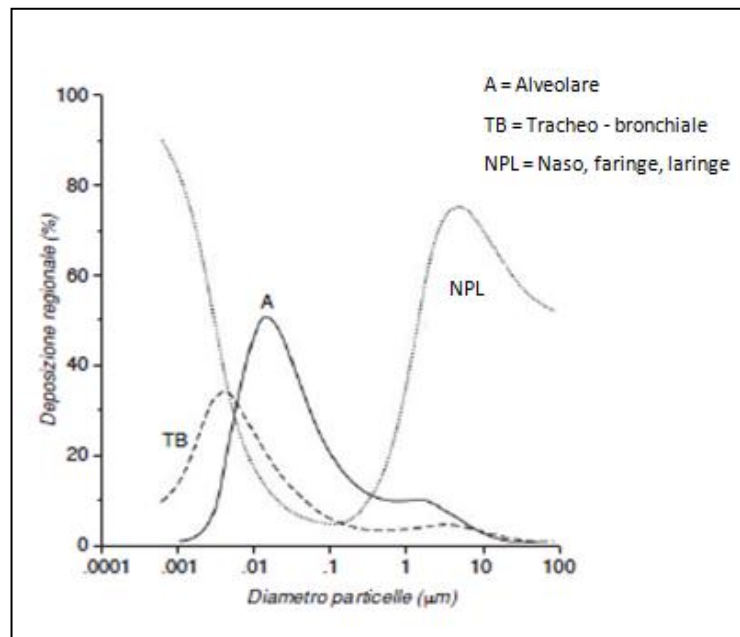


Figura 11 - Deposizione delle particelle inalate nelle varie regioni dell'apparato respiratorio in funzione delle dimensioni delle particelle.

Si può notare che le particelle ultrafini si depositano in modo significativo sia nelle regioni alveolari che tracheobronchiali (TB), anche se in quest'ultima zona in percentuale minore. Malgrado ciò occorre tener conto che la densità delle particelle depositate è considerevolmente maggiore di quella alveolare, in quanto l'area superficiale disponibile nella regione tracheobronchiale è molto più ridotta rispetto alla superficie della regione alveolare.

Le particelle più fini si depositano in gran numero nelle zone terminali e negli alveoli. In queste zone il flusso di aria è prossimo a zero e la deposizione delle particelle molto fini aumenta a causa dell'elevata efficienza di deposizione per diffusione.

Le particelle grossolane invece vengono trattenute nella parte superiore del tratto respiratorio.

L'inquinamento atmosferico non dà origine a una malattia specifica, ma può incidere in maniera rilevante sulla salute umana.

Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti come infiammazione e secchezza del naso e della gola, oppure effetti molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, ecc.

Inoltre, per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene, che una volta entrate nei tratti respiratori possono accentuare gli effetti.

Le particelle più piccole penetrano nel sistema respiratorio a varie profondità e possono trascorrere lunghi periodi di tempo prima che vengano rimosse, per questo sono le più pericolose. Queste, infatti, possono raggiungere gli alveoli polmonari dando luogo ad un possibile assorbimento nel sangue con conseguente intossicazione o aggravare, inoltre, le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema.

È utile distinguere due tipologie di effetti dovuti a differenti modalità di esposizione agli agenti inquinanti.

Gli effetti acuti sono quegli effetti che si manifestano in un breve arco di tempo (entro giorni o settimane) a seguito di un'esposizione non prolungata (dell'ordine di giorni o settimane), ma intensa all'inquinamento atmosferico. In caso di aumento dell'inquinamento si verifica un brusco incremento di sintomi respiratori quali tosse, attacchi d'asma, polmonite, aggravamento di bronchiti croniche, disturbi respiratori, aritmia o infarto miocardico.

Una pubblicazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO Air quality guidelines. World Health Organization, Geneva, 1999) riporta una relazione lineare tra livelli di PM₁₀ medio giornaliero e aumento percentuale dei ricoveri ospedalieri: per ogni 10 µg/m³ di PM₁₀ si stima un aumento percentuale di ricoveri dello 0,84%, dovuto principalmente a patologie cardiache e respiratorie; gli anziani risultano la categoria maggiormente colpita.

Si considerano effetti cronici quei danni alla salute umana che sopraggiungono a seguito di un'esposizione prolungata (mesi o anni). Variazioni su scala giornaliera delle concentrazioni atmosferiche d'inquinanti non avrebbero influenza diretta su questi effetti a lungo termine; detti effetti, invece, subiscono una significativa diminuzione nell'arco di anni a seguito di un consistente miglioramento della qualità dell'aria. Ricerche condotte negli Stati Uniti e in Europa mettono in luce che l'esposizione cumulativa all'inquinamento atmosferico riduce lo sviluppo polmonare nei bambini, accelera l'«invecchiamento» delle funzioni polmonari negli adulti, aumenta la comparsa di sintomi respiratori di carattere cronico e può dare luogo anche a una maggiore incidenza del tasso di tumore ai polmoni negli adulti.

Tutti questi effetti, considerati nella loro globalità, conducono a un'aspettativa di vita più limitata (N. Kunzli). Studi effettuati sulla componente acida dell'aerosol hanno evidenziato

come i composti acidi presenti nelle particelle respirabili giungano fino ai polmoni, causando bronco-costrizioni in asmatici, danneggiamento dei polmoni e indebolimento del sistema immunitario, mentre i gas acidi solubili in acqua (es. HNO_3 , SO_2) vengono assorbiti e rimossi dalle pareti umide del tratto respiratorio superiore.

Gli effetti degli inquinanti atmosferici sulla salute umana si riscontrano in aumento di patologie respiratorie, diminuzione degli indici di funzionalità polmonare, rischio di tumori e leucemie dovuti principalmente al $\text{PM}_{2.5}$. Rimarrebbe al PM_{10} la responsabilità dei sintomi delle alte vie respiratorie, quali la tosse, bronchite, etc.

Gli episodi acuti d'inquinamento determinano nella popolazione adulta in buona salute effetti clinici lievi, con una piccola riduzione delle prestazioni polmonari, che il singolo può anche non avvertire, ma che hanno grande rilevanza epidemiologica e grande impatto sulla salute pubblica, determinando l'aumento di episodi nelle classi di popolazione con ridotta funzionalità respiratoria. Per ragioni di carattere metodologico, è intrinsecamente difficile attribuire questi effetti nocivi sulla salute umana ai singoli inquinanti. Sebbene sia ampiamente provato che l'inquinamento da particolato fine ne sia il maggior responsabile a livello fisiopatologico, il contributo, singolo o combinato, di altri inquinanti (es. NO_x , CO ...) non può non essere tenuto in considerazione. Dagli studi effettuati emerge come non si possa definire una soglia di concentrazione di particolato al di sotto della quale vi sia effetto nullo sulla salute. Effetti avversi per la salute si osservano a livelli non lontani dai valori di concentrazione naturali, cioè a circa $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabella 6 - Effetti acuti e cronici delle polveri sottili sulla salute umana.

EFFETTI ACUTI	SOGGETTI INTERESSATI
Incremento della mortalità giornaliera	Anziani, bambini, persone con malattie croniche cardiopolmonari, influenza o asma
Incremento dei ricoveri ospedalieri per asma e malattia polmonare ostruttiva cronica e malattie cardiovascolari	Anziani, bambini, persone con malattie croniche cardiopolmonari, influenza o asma
Aumento dei sintomi respiratori acuti	Bambini e persone con asma
Riduzione della funzionalità polmonare	Bambini e adulti
Aumento della viscosità del sangue, del battito cardiaco, delle infiammazioni polmonari	Adulti sani e malati

EFFETTI CRONICI	SOGGETTI INTERESSATI
Incremento del tasso di mortalità	Adulti e bambini
Riduzione dell'aspettativa di vita	
Riduzione della funzionalità polmonare	
Aumento dei sintomi di bronchite e malattie cardiopolmonari	

Nelle linee guida l'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) fissa una soglia per la qualità dell'aria che prevede una concentrazione massima di PM10 di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ma i dati pubblicati dall'agenzia dell'ONU per la salute dimostrano che in diverse città questa concentrazione viene superata.

L'OMS evidenzia le principali informazioni che emergono dallo studio: «E' normale constatare livelli costantemente elevati di inquinamento da particolato fine in molte zone urbane. Questo inquinamento proviene sovente da fonti di combustione quali le centrali elettriche ed i veicoli a motore. L'esposizione media annua al particolato PM10 delle popolazioni che abitano in ambiente urbano, supera la soglia di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ raccomandata nelle linee guida dell'OMS relative alla qualità dell'aria. In media, solo qualche città presenta attualmente dei valori conformi alle linee guida dell'OMS.

Per il 2008, si stima a 1,34 milioni il numero di decessi prematuri attribuibili all'inquinamento atmosferico in città. Se i valori fossero stati dappertutto conformi alle linee guida dell'OMS, 1,09 milioni di vite avrebbero potuto essere salvate in quell'anno. Il numero di decessi attribuibili all'inquinamento atmosferico in città è aumentato in rapporto di circa 1,15 milioni nel 2004. Questo si spiega con l'aumento recente dell'inquinamento atmosferico e della dimensione delle popolazioni, ma anche con il fatto che ci sono più dati disponibili e metodi impiegati migliori nell'acquisizione dei dati».

MODELLI DI DEPOSIZIONE

2.1 - Premessa

Nel corso degli ultimi anni, un crescente interesse della ricerca è stato focalizzato nel trovare una relazione tra l'esposizione al particolato ambientale ed i conseguenti effetti sulla salute umana. I dati, elaborati dagli studi epidemiologici, dimostrano che esiste una relazione tra le concentrazioni di particolato e l'aumento degli indici di mortalità, mentre gli studi tossicologici cercano di fornire una spiegazione biologica.

L'analisi della valutazione ai rischi sanitari sull'esposizione al particolato, prende in esame i meccanismi di deposizione delle particelle inalate dal corpo umano, determinando le interazioni dell'effetto tossico e la reazione dei tessuti dell'apparato respiratorio.

La deposizione di particelle fa riferimento ai processi convettivi di trasporto che determinano la concentrazione di particelle disperse nell'aria inspirata e depositate nelle varie parti dell'apparato respiratorio.

Lo sviluppo dei modelli di inalazione (dosimetria) è un fattore importante per comprendere la relazione esistente tra esposizione – concentrazione - reazione del particolato e permette di valutare i rischi della salute umana in seguito all'inalazione di differenti sostanze tossiche nelle varie situazioni ambientali, lavorative e/o residenziali.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati numerosi modelli matematici per determinare la concentrazione di particelle depositate nel tratto respiratorio.

In generale i modelli di valutazione possono essere classificati in tre principali gruppi:

- Nel primo metodo si suddivide in comparti l'apparato respiratorio. Sono stati proposti numerosi modelli compartimentali del sistema respiratorio umano, differenziandoli, nella rappresentazione dell'albero tracheo-bronchiale, nella fisiologia della respirazione, nel flusso d'aria e nelle formule matematiche utilizzate per il calcolo dell'efficienza di deposizione delle particelle. (Yeh e Schum 1980; Koblinger e Hofmann 1990; Martonen 1995; Anjilvel e Asgharian 1995; Zhang e Kleinstreuer 2001).
- Nel secondo metodo il tratto respiratorio è modellato a forma di “tromba” con una sezione trasversale variabile. Questo metodo non fornisce una realistica morfologia del polmone ma permette di determinare in modo efficiente ed analitico la concentrazione di depositi in ambito spazio-temporale. (Yu e Diu 1983; Nixon e Egan 1987; Darquenne e Paiva 1994).
- Nel terzo metodo si utilizza una combinazione di formule teoriche ed empiriche per determinare la deposizione delle particelle nelle vie aeree. Tale metodo è utilizzato dalla Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP); dato che questo metodo è semi-empirico, ha un'applicabilità limitata ai vari casi che non sono stati inclusi nel database dal quale sono estrapolate le formule empiriche. Infatti, il modello ICRP66 non fornisce risultati adeguati se le particelle in sospensione non sono inerti e stabili, in quanto, in generale, le particelle non mantengono la loro composizione e dimensione durante il ciclo di respirazione. Tuttavia, questo metodo, nonostante le considerazioni sopraesposte, è uno strumento attendibile e semplice per la rilevazione dei valori dosimetrici inalati.

2.2 – Fattori per determinare la deposizione delle particelle

Hofmann afferma che “risolvere un problema fisico in un sistema biologico utilizzando un metodo matematico” permette di determinare la quantità delle particelle depositate nel tratto respiratorio. I fattori biologici includono la morfologia del polmone, che definisce la geometria delle vie aeree, e i parametri respiratori, come il flusso d'aria e la velocità delle

particelle; i fattori fisici sono le dinamiche del flusso del volume d'aria inalato, le proprietà delle particelle e i meccanismi di deposizione.

Il modello matematico per definire il deposito di particelle nel polmone umano deve soddisfare i presupposti fisici e biologici a due condizioni: deve essere anatomicamente e fisiologicamente il più realistico possibile e le equazioni devono fornire una soluzione numerica.

2.2.1 – Struttura dell'apparato respiratorio

L'apparato respiratorio è costituito funzionalmente da due differenti parti anatomiche: le vie aeree in cui l'aria e i gas in essa contenuti vengono convogliati all'interno o all'esterno dell'organismo, rispettivamente durante i processi di inspirazione ed espirazione; e i polmoni in cui avviene lo scambio di gas con l'apparato circolatorio. Le vie aeree, pur essendo in continuità tra di loro, vengono suddivise in vie aeree superiori e vie aeree inferiori. Le vie aeree superiori sono costituite da naso, fosse nasali e faringe. Tra le funzioni delle vie aeree superiori vi sono l'umidificazione ed il riscaldamento dell'aria, oltre alla cattura del pulviscolo per mezzo del muco. Le vie aeree inferiori sono, invece, costituite da trachea, bronchi e bronchioli.

Nei modelli di deposizione il tratto respiratorio è comunemente suddiviso in tre parti, diverse per struttura, flusso, funzionalità, tempo di residenza e sensibilità alle particelle:

- regione extratoracica (ET): include naso (ET1), bocca, faringe e laringe (ET2) dove l'aria inalata viene riscaldata e umidificata.
- regione tracheobronchiale (TB): costituita dalla regione bronchiale (BB) e bronchiolare (bb). Questa regione include le vie aeree che conducono l'aria dalla regione extratoracica ai polmoni. La regione (BB) è formata dalla trachea e dai bronchi mentre la regione (bb) include i bronchioli ed i bronchioli terminali.

La trachea ha la forma di un cilindro. I bronchi si diramano direttamente dalla trachea, uno a destra ed uno a sinistra, la ramificazione continua fino a costituire il parenchima polmonare.

La loro struttura geometrica, inizialmente, è molto simile a quella della trachea; col progredire delle ramificazioni, muta profondamente, il diametro diminuisce naturalmente e le pareti si assottigliano portando alla formazione dei bronchioli.

- regione alveolare (AL): è responsabile degli scambi di massa tra l'aria presente nei polmoni ed il sangue. Gli alveoli, delle dimensioni di circa 0.1 mm, si aggregano a formare una struttura a grappolo intorno ad un bronchiolo terminale, e sono avvolti da una fitta rete di capillari. L'alveolo rappresenta l'unità funzionale del polmone.

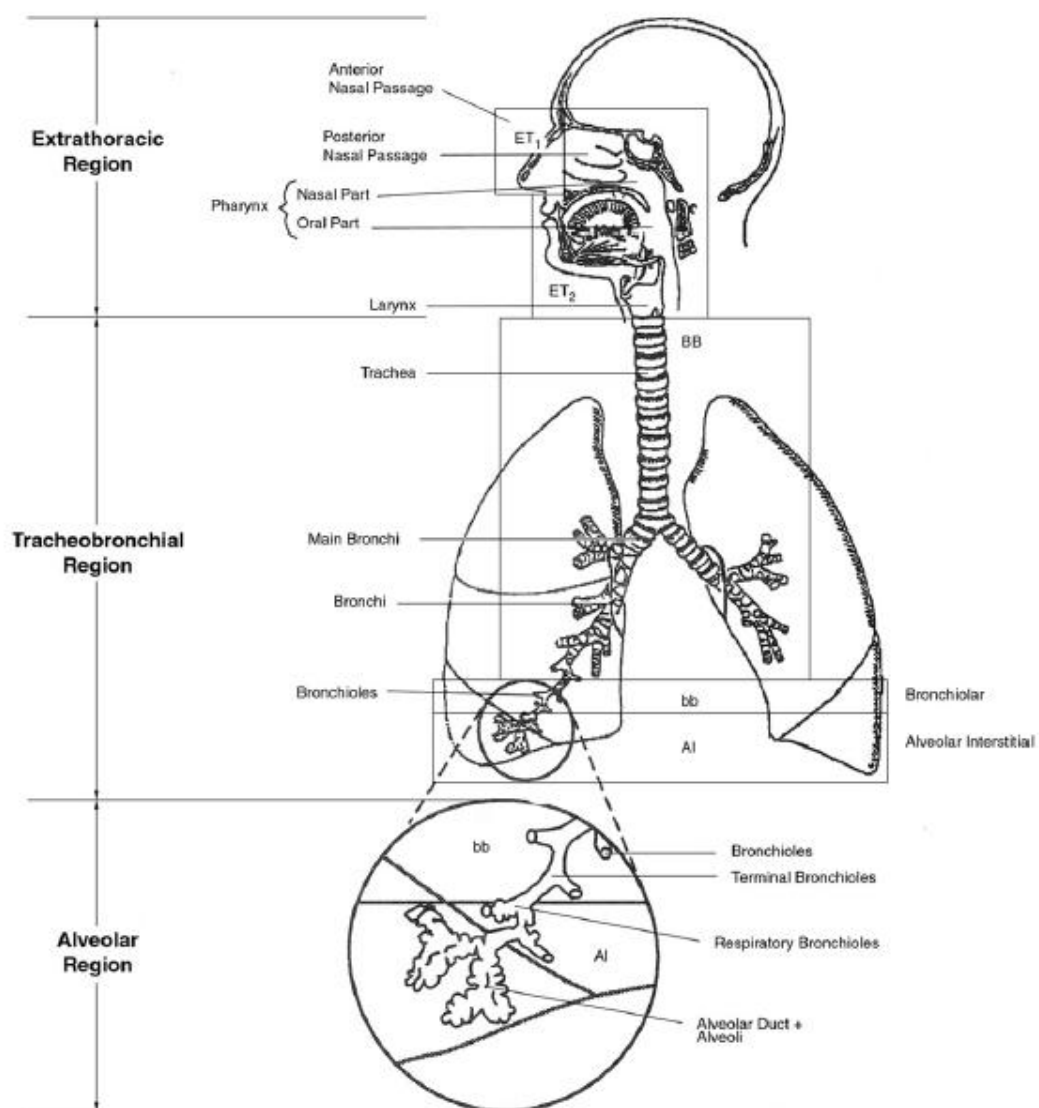


Figura 12 - Rappresentazione delle regioni anatomiche nel tratto respiratorio umano.

Il modello polmonare maggiormente utilizzato è il modello simmetrico di Weibel (1963). In questo modello l'albero tracheobronchiale è suddiviso in 24 tratti successivi in cascata (denominati generazioni) disposti secondo un'organizzazione simmetrica. La numerazione inizia assegnando il n° 0 alla trachea e termina con il n° 23 con riferimento ai sacchi alveolari. Tutti i rami, approssimati a dei tubi, appartenenti alla stessa generazione presentano caratteristiche geometriche identiche (diametro, lunghezza e angoli). Le prime 16 generazioni rappresentano le vie aeree di conduzione che, non partecipando agli scambi gassosi, costituiscono lo spazio morto anatomico. Segue la zona di transizione, compresa fra la 17^a e 19^a generazione bronchiale, dove iniziano a comparire i primi alveoli, mentre i dotti alveolari (che terminano nei sacchi alveolari a livello 23^a generazione) si trovano tra la 19^a e la 22^a generazione bronchiale. La porzione dei bronchioli compresa fra la 20^a e la 23^a generazione bronchiale rappresenta la zona respiratoria.

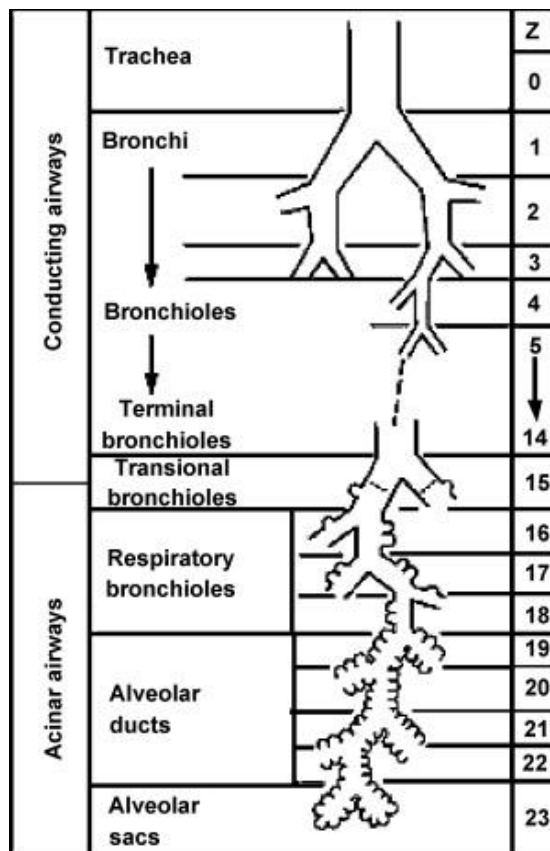


Figura 13 - Modello di Weibel.

La tabella seguente mostra le caratteristiche dell'apparato respiratorio umano. Ogni generazione (z) si divide in due parti quindi il numero totale di rami è dato da $N=2^z$.

Poiché la sezione trasversale totale, aumenta solitamente con l'aumento di livelli di generazione, la velocità media dell'aria tende a diminuire nelle vie aeree distali.

Si può osservare che la regione che occupa il maggior volume nel polmone è quella alveolare con 2-4 Litri in quanto, in un adulto sano si trovano dai 400 ai 1200 milioni di alveoli.

Tabella 7 - Caratteristiche delle regioni del tratto respiratorio secondo il modello di Weibel.

Generation z	Number, n(z)	Diameter d(z)(cm)	Length l(z) (cm)	Area S(z) (cm ²)	Volume V(z) (cm ³)	Cumulative volume (cm ³)	Flow rate 1 l s ⁻¹		
							Speed (cm s ⁻¹)	Reynolds No.	Residence time (ms)
BB	0	1	1.8	12	2.54	30.5	393	4.350	30
	1	2	1.22	4.76	2.33	11.25	427	3.210	11
	2	4	0.83	1.9	2.13	3.97	462	2.390	4.1
	3	8	0.56	0.76	2	1.52	507	1.720	
	4	16	0.45	1.27	2.48	3.46	392	1.110	3.2
	5	32	0.35	1.07	3.11	3.3	325	690	4.4
	6	64	0.28	0.9	3.96	3.53	254	434	
	7	128	0.23	0.76	5.1	3.85	188	277	
bb	8	256	0.186	0.64	6.95	4.45	144	164	
	9	512	0.154	0.54	9.65	5.17	105	99	
	10	1.024	0.13	0.46	13.4	6.31	73.6	60	
	11	2.048	0.109	0.39	19.6	7.56	52.3	34	7.4
	12	4.096	0.095	0.33	28.8	9.82	34.4	20	16
	13	8.192	0.082	0.27	44.5	12.45	23.1	11	
	14	16.384	0.074	0.23	69.4	16.4	14.1	6.5	
	15	32.768	0.066	0.2	113	21.7	8.92	3.6	31
Al	16	65.536	0.06	0.165	180	29.7	5.40	2.0	60
	17	131.9×10^3	0.054	0.141	300	41.8	3.33	1.1	
	18	262×10^3	0.05	0.117	534	61.1	1.94	0.57	
	19	524×10^3	0.047	0.099	944	93.2	1.10	0.31	210
	20	1.05×10^6	0.045	0.083	1.600	139.5	0.60	0.17	
	21	2.10×10^6	0.043	0.07	3.220	224.3	0.32	0.08	
	22	4.19×10^6	0.041	0.059	5.880	390	0.18	0.04	
	23	8.39×10^6	0.041	0.05	11.800	591	0.09	—	550
		300×10^6	0.028	0.023		3.200	4.800		

Il modello di Weibel presenta molte semplificazioni tra cui, in particolare, la ramificazione simmetrica e la sottostima dei valori relativi alle sezioni e alle lunghezze delle vie tracheobronchiali. Inoltre genera un alto numero di diramazioni aventi diametri e lunghezze delle vie aeree alveolari di dimensioni ridotte.

Successivamente, Horsfield (1971), ha proposto ed analizzato un modello asimmetrico della struttura polmonare in cui, ogni via aerea si ramifica in altri due canali con ordine differente; comunque, i canali ramificati dello stesso ordine hanno proprietà geometriche identiche. In

questo modello non vengono identificati i dati relativi alle proprietà dimensionali del tratto respiratorio.

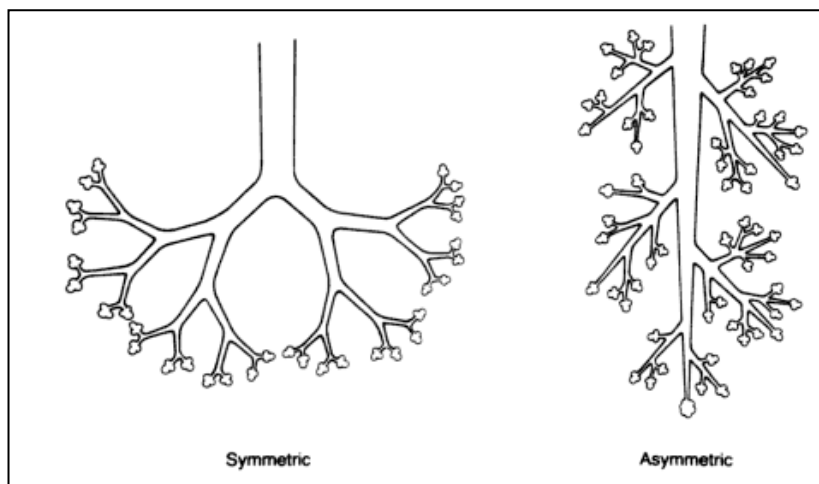


Figura 14 - Rappresentazione delle diverse strutture simmetrica e asimmetrica del polmone.

Horsfield, propone un modello in cui, ogni via aerea si ramifica in altri due canali con ordine differente; comunque, i canali ramificati dello stesso ordine hanno proprietà geometriche identiche. In questo modello non vengono identificati i dati relativi alle proprietà dimensionali del tratto respiratorio.

In generale, i risultati delle ricerche scientifiche di Park e Wexler dimostrano che non esiste una differenza significativa sulla deposizione di particelle ultrafini quando il soggetto respira in modo continuo e regolare; la quantità di particelle fine deposte raddoppiano quando il soggetto completa una singola respirazione.

L'apparato respiratorio, proposto da Horsfield, è costituito da una ramificazione di canali che si estende dalla trachea fino agli alveoli; questa ramificazione viene quantificata in 467.838 canali. Inoltre, Horsfield, quantifica in $0,0048 \text{ m}^3$ la capacità volumetrica del polmone, nella realtà questo valore è di $0,0065 \text{ m}^3$. Nonostante questa discrepanza il modello proposto da Horsfield risulta essere più realistico rispetto ad altri modelli proposti.

Il canale principale è definito "genitore" e quando si suddivide in altri due canali, questi, prendono il nome di "figlia". Ognuna di queste ramificazione viene chiamata "generazione". A sua volta una figlia si suddivide in altri due canali nella successiva generazione, in questo modo il canale generato è la figlia per il suo genitore e nello stesso tempo è un genitore per il suo ramo successivo.

Ogni canale è identificato con numero, chiamato “ordine”. La numerazione progressiva inizia dai bronchioli assumendo il numero 1 e successivamente, quando due di questi, si incontrano, si genera una ramificazione di secondo ordine.

Quando i canali di ordine diverso si incontrano, il loro “genitore” prende l'ordine di un grado superiore rispetto all'ordine maggiore. I canali dello stesso ordine hanno proprietà geometriche identiche. In questo modello sono presenti 31 ordini, sono stati quantificati 233.920 i canali presenti nell'ordine 1; da analisi approfondite e conformi alla realtà la quantità di detti canali è di 233.659.

2.2.2 – Parametri respiratori

L'anatomia e la fisiologia del tratto respiratorio incidono sulla deposizione delle particelle. Assumono grande importanza i parametri che determinano il ritmo e i cicli di respirazione; il modo di respirare dipende dall'intensità dell'attività corporea a cui si è sottoposti.

L'inalabilità (I), intesa come frazione in massa delle particelle aerodisperse che sono inalate dal naso e dalla bocca, è definita come il rapporto tra la concentrazione delle particella inspirate, attraverso il naso o la bocca, e la concentrazione delle particelle presenti nell'aria.

I parametri fisiologici che determinano la deposizione sono:

- Volume corrente (Tidal Volume TD): volume di aria che entra ed esce dai polmoni ad ogni atto respiratorio. I valori tipici variano tra i 3 e i 5 L.
- Frequenza respiratoria (f): numero di atti respiratori al minuto (12-18 min⁻¹).
Il prodotto tra volume corrente e frequenza respiratoria fornisce il volume di respirazione in un minuto (RMV).
- Capacità polmonare totale (TLC): misura il volume totale di aria nel polmone dopo una massima inspirazione (circa 6-7 L).
- Capacità funzionale residua (FRC): misura il volume di aria rimasta nei polmoni al termine di una espirazione normale. Valori tipici per questo parametro sono attorno a 1,8 L per le donne e 3 L per gli uomini.
- Volume residuo (RV): misura il volume dell'aria rimasta nei polmoni al termine di una espirazione massima. Può arrivare da 1,2 L nelle donne e 1,4 L negli uomini.
- Capacità vitale (VC): misura la differenza tra il volume di aria corrispondente alla massima inspirazione e a quello corrispondente alla massima espirazione. Questo

parametro polmonare è quello più influenzato dalla morfologia corporea del soggetto, in particolare è legato alla statura corporea. I valori tipici sono compresi da 4 e 5 L per gli uomini e da 3 e 4 L per le donne.

La capacità polmonare totale è data dalla somma tra il volume residuo e la capacità vitale; essa indica in modo approssimativo il volume di aria complessivamente trattenuto ed espirato, a partire da quello inspirato.

- Volume di riserva espiratoria/ inspiratoria: misura il massimo volume espirabile/ inspirabile dalla fine del ciclo respiratorio.
- Volume espiratorio massimo nel primo secondo (FEV1): misura il volume di aria espirata nel primo secondo in seguito ad un'espirazione forzata, partendo da una inspirazione completa; permette di misurare la velocità di svuotamento dei polmoni.

I volumi polmonari variano in base all'età: in una persona adulta il volume residuo e la capacità funzionale residua (FRC) tendono ad aumentare, mentre si riducono la capacità vitale e i volumi di riserva inspiratoria ed espiratoria.

I parametri fisiologici dipendono dall'età e dalla attività fisica a cui sono sottoposti: infatti una persona adulta inala maggiormente rispetto ad un bambino, mentre la frequenza respiratoria diminuisce.

Nella tabella 8 vengono illustrati i valori dei parametri fisiologici suddivisi in: bambino, uomo, donna, e per le condizioni respiratorie che caratterizzano alcune differenti attività fisiche.

Tabella 8 - Valori rappresentativi dei parametri fisiologici.

Parameter	Exposed person		
	Male	Female	Child (3 months)
FRC: Functional residual capacity (ml)	3,301	2,681	148
$V_D(ET)$: Anatomical dead space of the Extrathoracic region (ml)	50	40	2.6
$V_D(BB)$: Anatomical dead space of the trachea and bronchi (ml)	49	40	4.5
$V_D(bb)$: Anatomical dead space of bronchioli (ml)	47	44	6.8
d_0 : Diameter of Trachea (cm)	1.65	1.53	0.616
d_9 : Diameter of the first bronchioles (cm)	0.165	0.159	0.099
d_{16} : Diameter of the terminal bronchiole (cm)	0.051	0.048	0.020
<i>Mean values during sleeping</i>			
B : Volumetric flow rate during inhalation (m ³ /h)	0.45	0.32	0.99
V_T : Air volume during inhalation (ml)	625	444	39
V : Volumetric flow rate (ml/sec)	250	178	50
f: Breathing frequency (breaths/min)	12	12	38
<i>Mean values at rest</i>			
B : Volumetric flow rate during inhalation (m ³ /h)	0.54	0.39	–
V_T : Air volume during inhalation (ml)	750	464	–
V : Volumetric flow rate (ml/s)	300	217	–
f: Breathing frequency (breaths/min)	12	14	–
<i>Mean values for light exercise</i>			
B : Volumetric flow rate during inhalation (m ³ /h)	1.5	1.25	0.19
V_T : Air volume during inhalation (ml)	1,250	992	66
V : Volumetric flow rate (ml/s)	833	694	106
f: Breathing frequency (breaths /min)	20	21	48
<i>Mean values for heavy exercise</i>			
B : Volumetric flow rate during inhalation (m ³ /h)	3	2.7	–
V_T : Air volume during inhalation (ml)	1,920	1,364	–
V : Volumetric flow rate (ml/s)	1,670	1,500	–
f: Breathing frequency (breaths/min)	26	33	–

I parametri fisici necessari per determinare la deposizione delle particelle sono la velocità u , per ciascuna via aerea, la stessa decresce penetrando nel tessuto polmonare.

I parametri alternativi relativi alla velocità della particella sono la portata Q , il volume d'aria inalato durante la fase di inspirazione (volume corrente/tempo di inspirazione) o il tempo di residenza τ (volume corrente/portata).

2.2.3 – Dinamiche del fluido

Il trasporto delle particelle inalate attraverso il tratto respiratorio è basato sul principio fondamentale che le particelle, contenute in un dato volume d'aria, viaggiano alla stessa

velocità dell'aria (trasporto convettivo). Per le particelle più piccole, invece, la velocità assiale potrebbe essere leggermente maggiore o minore rispetto al trasporto convettivo ed è espresso da un coefficiente di diffusione effettivo, in funzione della velocità del flusso assiale, del coefficiente di diffusione e del diametro della via aerea.

I modelli riguardanti il flusso d'aria all'interno del polmone sono determinati da un'interazione complessa tra le caratteristiche strutturali, come le dimensioni della via aerea, la configurazione della rete di ramificazione e il sistema di ventilazione.

Il principio fondamentale consiste nello stabilire le dinamiche che avvengono all'interno del tratto respiratorio, ossia se il moto primario sia laminare o turbolento e se i profili di velocità siano piani o parabolici.

Il flusso di tipo laminare e parabolico in tutte le generazioni della via aerea è assunto nella maggior parte dei modelli di deposizione della particella; mentre, i risultati sperimentali e teorici dei modelli del flusso d'aria suggeriscono che la dinamica fluida varia con l'aumento della penetrazione nei polmoni.

Nel 1993 Martonen, per esempio, propose il seguente modello in merito alla dinamica dei fluidi:

- il flusso, all'entrata della trachea, è caratterizzato dall'azione del getto laringeo;
- un flusso turbolento è presente nella parte alta dei bronchi e può persistere anche con bassi numeri di Reynolds a causa delle instabilità indotte dalla laringe;
- nella parte bassa dei bronchi e nella regione bronchiolare, i modelli del flusso d'aria sono definite da un flusso laminare con un profilo di velocità uniforme;
- nella regione alveolare il flusso laminare è a sviluppo completo con un profilo parabolico dovuto alle basse velocità in queste zone delle vie aeree.

Durante l'espiazione, il flusso laminare prevale in tutte le regioni, con un profilo uniforme causato dal mescolamento dei flussi nelle biforcazioni delle vie aeree.

I modelli di dinamica fluida di base vengono utilizzati anche in altri modelli di deposito della particella. In molti modelli, il flusso laminare con profilo parabolico è assunto per tutta la regione bronchiale e bronchiolare, in parte per semplicità e in parte per la disponibilità delle equazioni di deposizione delle particelle.

2.2.4 – Proprietà delle particelle

Il deposito di una particella inalata è legato alla dimensione della particella stessa. Il diametro utilizzato per la diffusione browniana è il diametro equivalente di mobilità d_{me} (a volte anche chiamato diametro equivalente di diffusione); mentre il diametro più appropriato per la sedimentazione e l’impatto è il diametro aerodinamico d_{ae} , che tiene conto della densità di una particella relativa di densità unitaria.

Nel caso di particelle non sferiche, la relazione fra il d_{me} (o d_{ae}) di una particella di forma irregolare e il suo diametro equivalente può essere definito da una costante (ICRP, 1994) o da un parametro dinamico (Kasper, 1982; Park, 2004; Hofmann, 2009).

Man mano aumenta la penetrazione nel polmone il diametro effettivo della particella varia a causa della crescita igroscopica o della coagulazione; l’effetto di coagulazione si verifica in presenza di elevate concentrazioni di particelle.

2.2.5 – Meccanismi di deposizione

La deposizione di particelle nelle vie aeree è un processo molto complesso. Per deposizione si intende quel meccanismo che determina la frazione di particelle depositate nel tratto respiratorio.

La qualità del deposito delle particelle nel tratto respiratorio dipende dalla dimensione e dalle proprietà fisico-chimiche delle particelle, dai parametri morfometrici e dai parametri di respirazione.

La deposizione totale è calcolata come somma delle efficienze di deposito di ciascun meccanismo.

La quantità di particelle depositate può essere calcolata:

$$H = n_0 * c_a * B * \left(a \sum_i n_{fine,i} + (1 - a) \sum_i n_{coarse,i} \right)$$

Dove:

H = quantità depositata ($\mu\text{g}/\text{h}$),

n_0 = rapporto di inhalability,

c_A = concentrazione di particelle nell'aria,

B = capacità di ventilazione,

α = massa della frazione fine

$n_{fine, i}$ = accumulo delle particelle fine nella regione "i" del polmone,

$n_{coarse, i}$ = accumulo delle particelle grossolane nella regione "i" del polmone

I meccanismi di sedimentazione prevalenti a cui sono soggette le particelle inspirate nell'organismo sono l'impatto provocato dalle forze inerziali, la sedimentazione causata dalla forza gravità e la diffusione Browniana (Joseph, 2007; Patton, 2007).

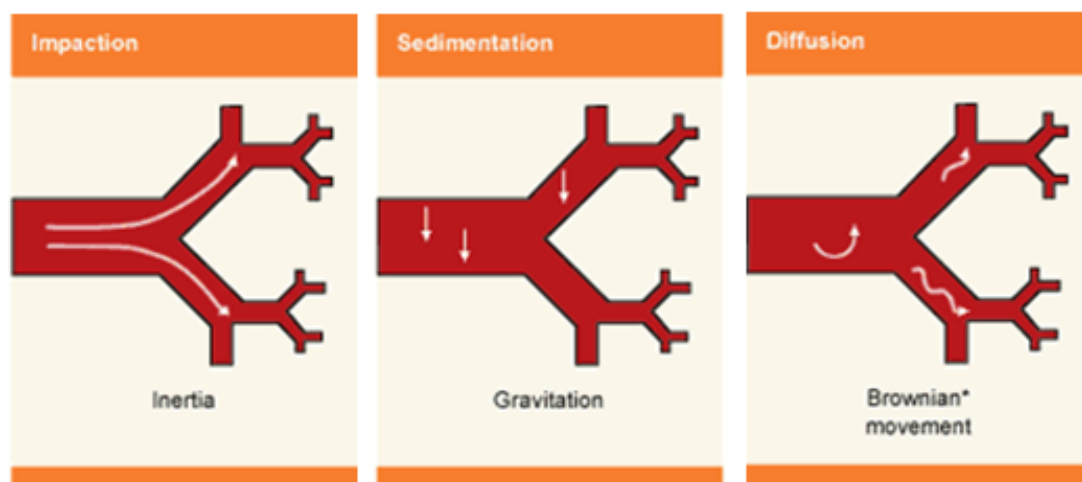


Figura 15 - Meccanismi principali di deposizione: impatto, sedimentazione, diffusione Browniana.

Le particelle con diametro maggiore di $0,5 \mu m$ sono soggette all'impatto inerziale. Con il crescere delle dimensioni, il loro tasso di deposito aumenta mentre la capacità di seguire il flusso respiratorio si riduce proporzionalmente alla velocità del flusso stesso. Le particelle più grandi tendono a precipitare nei punti di captazione e nelle aree più strette del tratto respiratorio, ovvero in prossimità del naso, della laringe e nelle biforcazione delle vie aeree più grandi.

La probabilità di deposizione della particella dovuto all'impatto è proporzionale alla velocità del flusso d'aria, alla frequenza di inalazione e alle dimensione e densità delle particelle (Schlesinger 1988). La deposizione della particella nel tratto respiratorio dovuta all'impatto è proporzionale al numero di Stokes ($St = \tau \bar{u} / l$ - dove τ è il tempo di residenza, \bar{u} la velocità media del flusso e l la lunghezza della via aerea).

Il secondo meccanismo è la sedimentazione gravitazionale. Le particelle più piccole vengono filtrate lungo le vie aeree superiori e raggiungono le regioni centrali del polmone dove si depositano per sedimentazione gravitazionale.

La probabilità che la particella si depositi per sedimentazione è proporzionale al tempo di residenza, alle dimensioni e alla densità delle particelle ma è inversamente proporzionale alla frequenza di respirazione. Quindi, una breve interruzione dell'atto respiratorio al termine dell'inalazione fa aumentare la probabilità di deposizione nei polmoni.

Nel caso di particelle con dimensioni inferiori a $0,2\ \mu\text{m}$, il deposito è influenzato principalmente dalla diffusione Browniana. Questo meccanismo provoca la deposizione delle particelle nei bronchioli terminali e nella regione alveolare, per effetto di una bassa velocità del flusso ed un elevato tempo di residenza. Tuttavia, il deposito delle particelle ultrafini (inferiori a $0,01\ \mu\text{m}$) è significativo nelle vie aeree superiori per effetto degli alti coefficienti di diffusione (ICRP 2002).

La diffusione Browniana aumenta in modo inversamente proporzionale alle dimensioni delle particelle e direttamente proporzionale alla durata di permanenza nei polmoni.

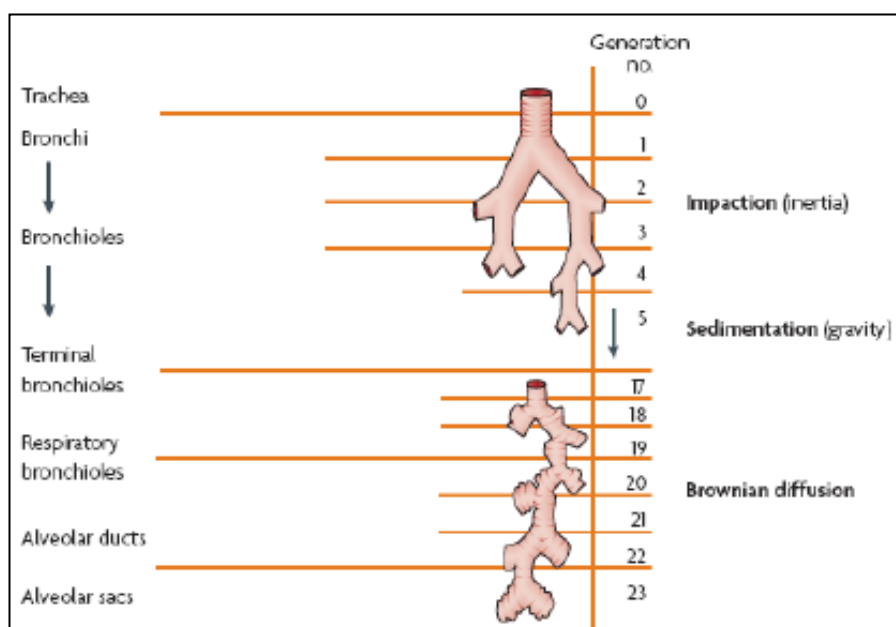


Figura 16 - Meccanismi di deposizione nel tratto respiratorio.

L'impatto si verifica nella parte alta del tratto respiratorio dove la velocità dell'aria e delle particelle sospese sono maggiori rispetto alla regione periferica del polmone. Per lo stesso

motivo le particelle nella regione alveolare sono soggette alla diffusione o alla sedimentazione dovuto alle basse velocità e quindi agli elevati tempi di residenza.

A causa della relazione inversa tra il deposito e il diametro della via aerea, l'efficienza di deposizione per tutti e tre i meccanismi è maggiore nelle vie aeree più piccole rispetto alle vie aeree bronchiali.

Nel caso di respirazione lenta è più probabile che si verifichi la diffusione o la sedimentazione per effetto di elevati tempi di residenza, mentre nel caso di respirazione veloce l'impatto è maggiore per effetto di un'alta velocità delle particelle.

Esistono altri due meccanismi di deposizione, la deposizione elettrostatica e l'intercettazione, che sono meno importanti e che si verificano solo in alcuni casi.

Nella deposizione elettrostatica le particelle elettricamente cariche sono attratte verso le pareti nel tratto respiratorio a causa della carica elettrostatica indotta dalle superfici. L'attrazione elettrostatica è inversamente proporzionale alle dimensioni delle particelle e alla velocità del flusso d'aria.

Tuttavia, la concentrazione di particelle elettricamente cariche nell'atmosfera non è elevata in quanto le particelle vengono neutralizzate dagli ioni atmosferici; di conseguenza l'importanza del meccanismo di attrazione elettrostatica è inferiore rispetto agli altri meccanismi di deposito.

I dati sperimentali hanno mostrato che la deposizione mediante questo meccanismo è più rilevante in presenza di particelle ultrafini nella regione tracheobronchiale (USEPA 2004).

Il meccanismo di deposizione per intercettazione, che interessa in particolare le particelle fibrose, avviene quando la particella entra in contatto con la superficie della via aerea. L'intercettazione dipende dalla dimensione e dalla morfologia della particella.

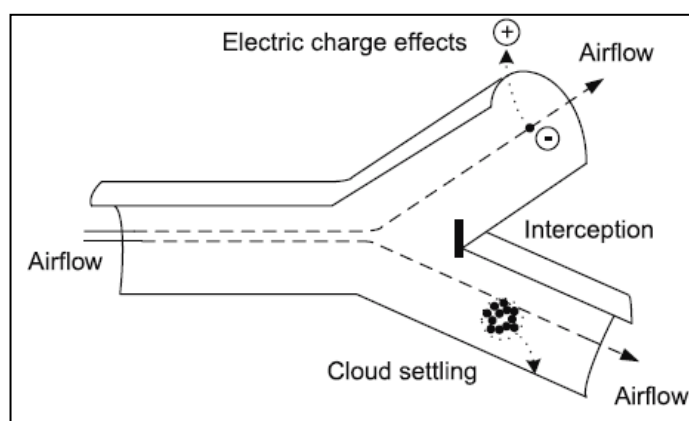


Figura 17 - Meccanismi di deposizione elettrostatica e intercettazione.

2.3 – Modelli di deposizione

Nell'arco degli anni sono stati sviluppati molti modelli per prevedere la deposizione totale e regionale delle particelle nel tratto respiratorio.

La determinazione dell'inhalabilità delle particelle nell'aria è il parametro principale per il calcolo della deposizione. All'inizio dell'inhalazione, le particelle passano per la regione extratoracica, i bronchioli e gli alveoli e, dopo una breve apnea, seguono in senso inverso lo stesso percorso durante la fase di espirazione. Le particelle si depositano nelle varie regioni in base al momento dell'inhalazione; le particelle inalate all'inizio della fase di inhalazione possono raggiungere la zona alveolare, mentre quelle inalate alla fine, si depositano nella parte alta del tratto respiratorio.

I modelli di deposizione nel tratto respiratorio possono essere suddivisi in due grandi categorie: i modelli empirici e i modelli meccanicistici.

Il modello empirico usa una combinazione di espressioni teoriche ed empiriche per determinare il deposito della particella nelle vie respiratorie. Il tratto respiratorio umano è considerato come una serie di compartimenti anatomici attraverso ai quali la particella passa durante la respirazione (Chan e Lippmann 1980; Rudolf 1986; Chang 1991; Phalen 1991; ICRP 1994). Ogni compartimento è visto come un filtro, quindi, la deposizione è rappresentata da un processo di filtrazione stazionario.

Nei modelli empirici non si prendono in considerazione le dinamiche della particella e del flusso ma si descrivono le efficienze di filtrazione nei vari compartimenti tramite espressioni

algebriche. L'applicazione di tali modelli è limitata in quanto i parametri del modello sono stati ricavati in condizioni morfologiche e fisiologiche specifiche e quindi non è possibile studiare circostanze e scenari differenti a quelli di riferimento. Il modello ICRP paragona le particelle a delle sfere mono disperse aventi una densità standard (1kg/m^3).

Ciononostante tra i modelli empirici il modello raccomandato dalla Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP 1994) trova un'ampia applicazione ed è considerato un modello di riferimento per le valutazioni sistematiche di dosimetria di inalazione.

I modelli meccanicistici, invece, permettono di calcolare il deposito sulla base di una descrizione più realistica della struttura e della fisiologia del polmone. Il vantaggio di questo modello è la capacità di poter utilizzare varie circostanze, per esempio, è possibile definire le variazioni per effetto dell'attività respiratoria e gli effetti collegati con la morfologia del tratto respiratorio.

2.3.1 – Modelli empirici

I modelli empirici più usati sono quelli della Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP 1994) ed il Consiglio Nazionale sulla Protezione dalle Radiazioni e sulla loro Misura (NCRP 1994). E' irrilevante la differenza tra le due metodologie, quindi, entrambe sono raccomandate per determinare il deposito delle particelle.

Il modello ICRP permette di determinare il deposito nelle diverse regioni dell'apparato respiratorio (extratoracico, tracheobronchiale e alveolare) considerandolo come un sistema di filtrazione composto da 5 filtri in serie, ciascuno corrispondente ad una regione. Le efficienze sono calcolate tramite espressioni algebriche e di origine semi-empirica.

Il modello ICRP ha avuto la sua originaria applicazione per lo studio del deposito della particella nelle differenti parti del tratto respiratorio ed in diversi soggetti: uomo, donna e neonato (3mesi).

I risultati ottenuti mostrano che nella regione extratoracica (ET1 e ET2) il deposito delle particelle con un diametro inferiore di $0,2\text{ }\mu\text{m}$, è superiore negli uomini rispetto alle donne, dovuto alle alte portate volumetriche. In presenza di particelle più grandi, invece, la percentuale di deposito è simile sia nei maschi che nelle femmine.

In un neonato di 3 mesi, la percentuale di deposito delle particelle grossolane è maggiore rispetto ad un adulto, mentre, le particelle più piccole il profilo di deposizione è lo stesso di quello di un adulto.

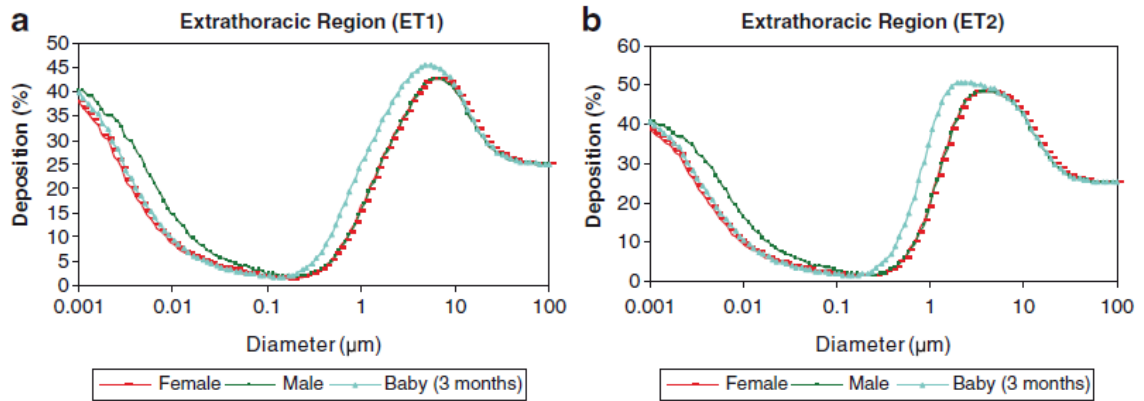


Figura 18 - Deposizione di particelle nella regione extratoracica.

Nella regione tracheobronchiale (BB) le particelle grossolane hanno le stesse caratteristiche di deposito sia nei maschi che nelle femmine. Tuttavia, le particelle con diametro inferiore di 0,002 μm, il deposito è più probabile nel tratto respiratorio della femmina, mentre per particelle con diametro compreso tra 0,002 e 0,2 μm la deposizione è più alta negli uomini. Nel caso del neonato si può notare che la percentuale di deposizione di particelle ultrafini è molto più elevata rispetto ad un adulto.

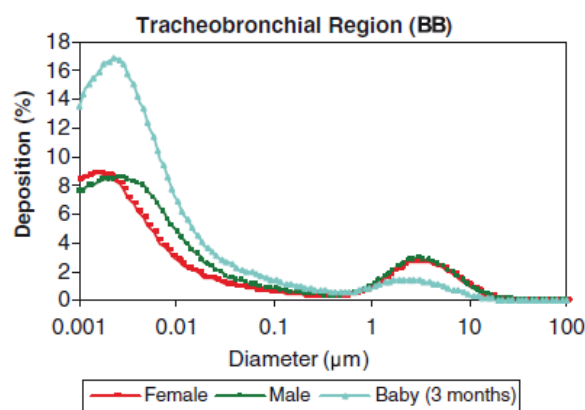


Figura 19 - Deposizione di particelle nella regione tracheobronchiale.

Nella regione bronchiale (bb) e alveolare (AL) la deposizione ha lo stesso andamento della regione tracheobronchiale.

Il deposito di particelle con diametri inferiori di 0,006 e di 0,021 μm , risulta maggiore nelle donne, rispettivamente nella regione bronchiale e alveolare, mentre, il deposito di particelle con il diametro compreso tra 0,7 e 0,021 μm e tra 0,006 e 0,85 μm , risulta maggiore negli uomini rispettivamente nelle regioni bb e AL.

Nel caso di un neonato di 3 mesi, nella regione alveolare, la percentuale di deposizione delle particelle è bassa rispetto ad un adulto, in quanto le dimensioni di questa regione sono minori, ma è elevata in rapporto alla massa corporea (USEPA 2004).

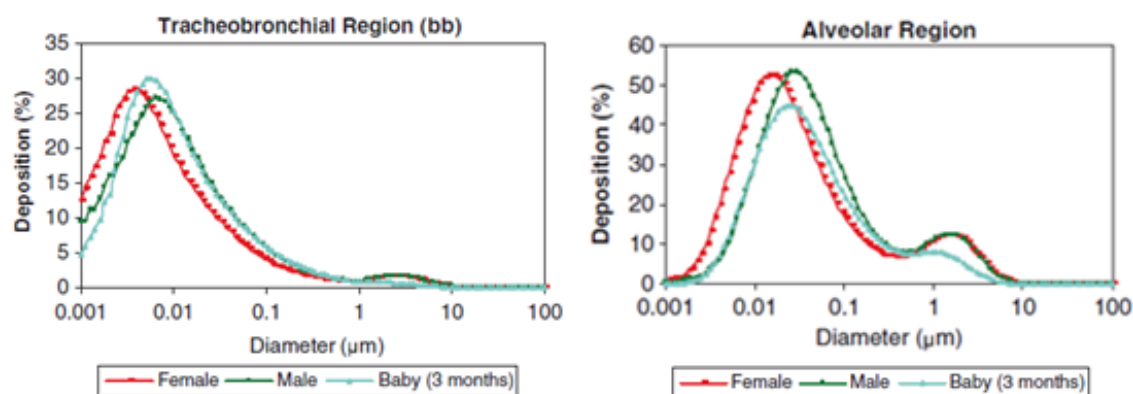


Figura 20 - Deposizione di particelle nella regione bronchiale e alveolare.

Complessivamente, la frazione totale di deposito è maggiore negli uomini per le particelle fini, mentre per le particelle grossolane il deposito si uguaglia fra gli uomini e le donne. Le particelle fini si depositano più facilmente nelle parti inferiori del tratto respiratorio della donna: questo è dovuto alle differenze anatomiche fra donne e uomini.

In un neonato la frazione totale di deposito delle particelle fini è inferiore, rispetto ad un adulto ma risulta elevata la quantità di particelle grossolane.

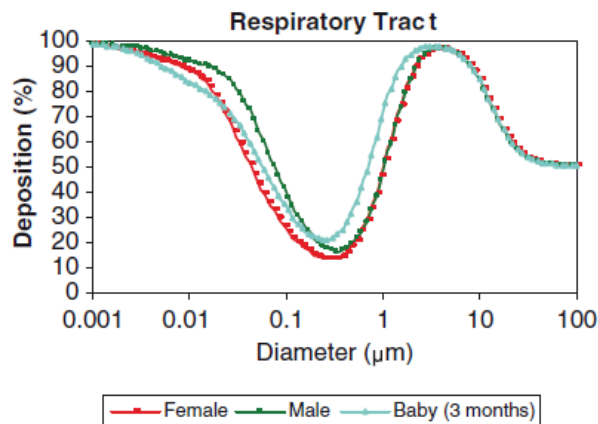


Figura 21 - Deposizione di particelle nel tratto respiratorio.

Nella figura 22 viene rappresentato graficamente il deposito totale e nella regione extratoracica (ET1 + ET2), nella regione tracheobronchiale (BB + bb) e nella regione alveolare (Al), in funzione della dimensione delle particelle.

I dati si riferiscono ad un adulto sottoposto ad una attività leggera.

Approssimativamente, le particelle con diametro pari a 0,3 μm si depositano in quantità minori (solo il 15%) nelle vie respiratorie.

Nel caso di particelle con diametro inferiore di 0,003 μm e maggiore di 1 μm si ha un'elevata deposizione nella regione extratoracica.

Le particelle con dimensioni comprese tra 0,007 e 0,3 μm si depositano nella regione alveolare, zona maggiormente sensibile che determina lo stato di salute dell'individuo.

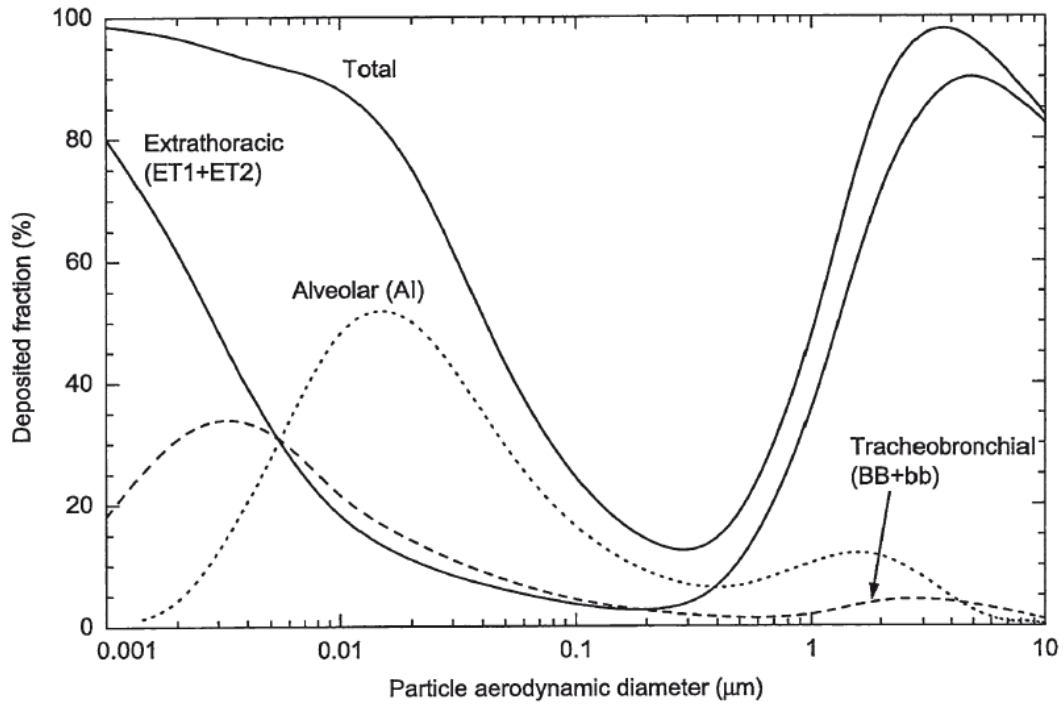


Figura 22 - Deposizione di particelle nelle varie regioni del tratto respiratorio, nel caso di un adulto sottoposto ad un'attività fisica leggera.

Le equazioni semplificate, utilizzate nel modello ICRP, per calcolare la frazione di deposizione sono:

- per la regione extratoracica (ET1 + ET2):

$$DF_{HA} = IF * \left(\frac{1}{1 + \exp(6,84 + 1,183 * \ln d_p)} + \frac{1}{1 + \exp(0,924 - 1,885 * \ln d_p)} \right)$$

- per la regione tracheobronchiale (BB + bb):

$$DF_{TB} = \left(\frac{0,00352}{d_p} \right) * \left[\exp \left(-0,234 (\ln d_p + 3,40)^2 \right) + 63,9 \exp \left(-0,819 (\ln d_p - 1,162) \right) \right]$$

- per la regione alveolare (AL):

$$DF_{AL} = \left(\frac{0,0155}{d_p} \right) \left[\exp \left(-0,416 (\ln d_p + 2,84)^2 \right) + 19,11 \exp \left(-0,482 (\ln d_p - 1,362)^2 \right) \right]$$

- deposito totale:

$$DF_{HA} = IF * \left(0,0587 + \frac{0,911}{1 + \exp(4,77 + 1,485 \ln d_p)} + \frac{0,943}{1 + \exp(0,503 - 2,58 \ln d_p)} \right)$$

Nelle quali il diametro della particella, d_p , è espresso in μm .

La frazione inalabile, IF, viene quantificata in funzione del diametro della particella d_p (espressa in μm) con la seguente relazione

$$IF = 1 - 0,5 \left(1 - \frac{1}{0,00076 * d_p^2 + 1} \right) + 10^{-5} * U^{2,75} * \exp(0,055 * d_p)$$

derivata sulla base di dati sperimentali ottenuti per particelle aerosospese in aria di diametro fino a 100 μm sospinte da un vento con velocità (U) massima pari a 8 m/s, mediando su tutte le possibili orientazioni del vento e ritenuta valida sia per inalazione nasale, sia per inalazione orale.

2.3.2 – Modelli meccanicistici

I modelli meccanicistici possono essere ulteriormente classificati in tre categorie:

- La prima categoria si riferisce alla regione d'interesse in cui si vuole determinare la deposizione, per esempio la deposizione nell'intero polmone umano (whole lung approach) oppure in una regione localizzata del polmone (local scale approach).
- Nella seconda categoria si distinguono nei modelli deterministici o stocastici: l'approccio deterministico utilizza un unico percorso predefinito in condizioni medie del polmone,

mentre i modelli stocastici utilizzano il metodo Monte Carlo e tengono conto dell'asimmetria del polmone e delle variazioni del percorso.

- La terza categoria analizza il trasporto e la deposizione delle particelle inalate. Se la deposizione in una regione del polmone è in termini di probabilità si ha un approccio Lagrangiano; se invece la deposizione è determinata dalla differenza tra la concentrazione in ingresso e in uscita si ha un approccio Euleriano.

I primi tre modelli di seguito presentati seguono un approccio euleriano l'ultimo un approccio lagrangiano.

2.3.2.1 - Modello a sezione trasversale o "trumpet"

Nell'approccio euleriano si impiega solitamente il modello "trumpet" per descrivere la geometria del percorso del flusso nel polmone. In questo modello le vie aeree vengono rappresentate come un condotto con sezione trasversale variabile riferita al numero di generazione di un determinato modello simmetrico del polmone (modello di Weibel). Ogni condotto della via aerea, appartenente alla stessa generazione, ha dimensioni identiche ed è caratterizzato dalla sua distanza assiale dalla trachea.

La sezione trasversale aumenta la sua dimensione con l'aumento della distanza dalla trachea, fino ad assumere una forma tipo tromba come si evince dalla figura 23.

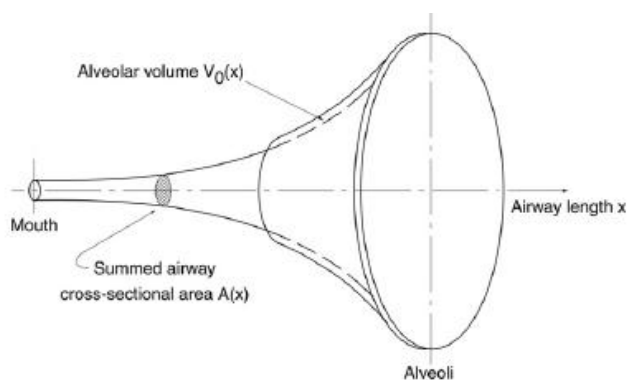


Figura 23 - Illustrazione del modello trumpet.

Il passaggio delle particelle inalate e il relativo deposito lungo la via aerea è determinato, matematicamente, da un'equazione di bilancio della massa a cui vanno sottratti le perdite causate dai meccanismi di deposizione: diffusione, sedimentazione e impatto.

L'equazione di trasporto può essere risolta sia analiticamente (senza diffusione assiale) oppure con metodi numerici che, però, hanno condizioni iniziali ed al contorno, molto complesse.

Questo modello è stato sviluppato per la prima volta da Taulbee e Yu (1975), successivamente perfezionato utilizzando equazioni di deposizione più recenti da Egan e Nixon (1985), Nixon ed Egan (1987) e Darquenne e Paiva (1994), recentemente ulteriormente sviluppato da Lazaridis (2001), da Robinson e da Yu (2001), Mitsakou (2005) e Choi e Kim (2007) con la presa in considerazione dei processi dinamici che influiscono sulla dimensione delle particelle inalate: la crescita igroscopica, la coagulazione, la carica elettrica e le reazioni chimiche in fase gassosa.

I metodi di trasporto e di deposito delle particelle, dovuto l'azione simultanea di differenti processi, sono stati descritti da Mitsakou (2005) tramite un'equazione differenziale, che prende in considerazione l'area della sezione trasversale A_T di tutte le vie aeree a distanza x e della concentrazione della particella N_i di dimensione i in funzione del tempo:

$$\partial_t(A_T N_i) = -\frac{\partial}{\partial x}(A_A u N_i) + \frac{\partial}{\partial x}\left(A_T D_{eff} \frac{\partial N_i}{\partial x}\right) - V_{di} n \pi d_T N_i + \frac{\partial}{\partial t}(A_T N_i)_{growth} + \frac{\partial}{\partial t}(A_T N_i)_{coagulation}$$

d_T = diametro della via aerea ad una determinata distanza x dalla trachea

n = numero totale delle vie aeree

A_A = area cumulativa della sezione trasversale

D_{eff} = coefficiente di diffusione assiale effettivo

V_{di} = velocità di deposizione dovuta alla sedimentazione, impatto inerziale e moti browniani.

Questo metodo non definisce l'esatta configurazione del polmone e non può simulare gli effetti asimmetrici della geometria delle vie aeree e le relative portate di flusso.

D'altra parte, una caratteristica positiva di tale metodo, è la formulazione matematica esatta con la soluzione dell'equazione differenziale inserendo al lato destro dell'equazione, i termini specifici di perdita, dovuti ai diversi meccanismi.

2.3.2.2 - Modello simmetrico deterministico o "single path"

Nel modello simmetrico tutte le vie aeree appartenenti ad una stessa generazione presentano dimensioni lineari identiche ed ogni via respiratoria principale ("genitore") si

ramifica in due vie aeree identiche (“figlie”). In questo modo il percorso delle particelle inalate negli alveoli attraverso la trachea si può rappresentare come una singola traiettoria. Per effetto della ramificazione simmetrica, il flusso d'aria e le particelle inalate sono distribuite ugualmente fra le vie aeree della stessa generazione, provocando la deposizione identica in ciascuna via respiratoria. Le efficienze di deposizione sono ottenute applicando le equazioni analitiche di deposito, in determinate condizioni di flusso, in base al meccanismo fisico presente.

Le frazioni depositate in una specifica via aerea sono ottenute moltiplicando le efficienze di deposizione per la frazione delle particelle (numero o concentrazione di massa) presenti in una definita generazione della via aerea (approccio euleriano).

I modelli di deposizione deterministici e simmetrici differiscono principalmente per i diversi modelli morfometrici del polmone e per le relative equazioni analitiche di deposito.

Il primo modello di deposizione fu realizzato da Findeisen (1935), successivamente sviluppato da Landahl (1950), Altshuler (1959), Beeckmans (1965), Gerrity (1979), Hofmann (1982, 1989), Martonen (1982, 1983, 1989, 1993) e Yeh e Schum (1980), questi ricercatori hanno fornito sia informazioni morfometriche più dettagliate sulle dimensioni della struttura polmonare sia sulle relative equazioni analitiche di deposito.

Il vantaggio principale di tale modello è dato dalla semplicità geometrica in quanto non è necessario conoscere dettagliatamente la struttura di ramificazione. Anche dal punto di vista analitico, questo modello non è difficile da risolvere e viene usato frequentemente.

Per contro, la semplicità morfometrica e le relazioni tra le equazioni di deposito per i differenti meccanismi fisici e la dinamica dei fluidi, limitano l'applicazione di tali modelli in strutture polmonari asimmetriche e variabili.

2.3.2.3 - Modello asimmetrico deterministico o “multiple path”

Il modello “multi-path” risulta essere più realistico rispetto al modello “single path” in quanto si basa sulle misure effettive di ciascuna via aerea e con una struttura di ramificazione polmonare di tipo asimmetrica.

Tuttavia, una reale descrizione deterministica, asimmetrica e completa del polmone umano non è attualmente disponibile.

Il modello Yeh e Schum (1980) ipotizza di suddividere il polmone in 5 lobi; ciascun lobo è caratterizzato da una struttura differente e simmetrica. I risultati della ricerca hanno

dimostrato che vi sono differenti variazioni di deposizione nei 5 lobi. La struttura simmetrica all'interno dei lobi evidenzia alcune limitazioni nel determinare il modello di calcolo delle quantità depositate in ciascun lobo.

Il volume della regione alveolare è un fattore determinante nel definire il deposito per sedimentazione e diffusione, mentre l'organizzazione strutturale incide minimamente per definire i valori di deposizione.

Questo modello prende in considerazione l'asimmetria di ramificazione delle vie aeree e le relative portate permettendo così di calcolare la deposizione nei lobi ma non può essere applicato in presenza di una struttura simmetrica polmonare.

Il flusso d'aria in ciascuna ramificazione delle vie respiratorie è proporzionale al suo volume distale. Per ciascuna via respiratoria, le concentrazioni delle particelle depositate, in funzione del tempo, vengono determinate nell'estremità prossimale e distale (approccio euleriano).

Analizzando l'efficienza di deposizione, considerando i vari meccanismi di deposito, si può definire la concentrazione di particelle depositate nelle zone più vicine ai bronchi (prossimale) e successivamente si quantifica le particelle depositate all'estremità del sistema bronchiale (distale).

Il grafico della figura 24 mostra che le particelle non si depositano in modo uniforme nei cinque lobi del polmone.

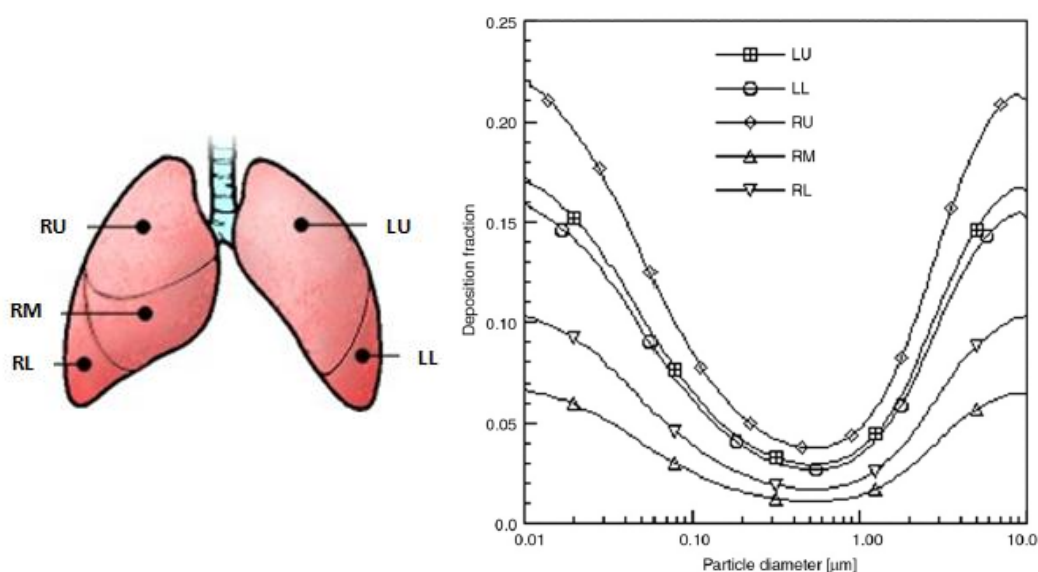


Figura 24 - Modello "multi-path". Deposizione di particelle nelle 5 zone: LU: lobo superiore sinistro, LL: lobo inferiore sinistro, RU: lobo superiore destro, RM: lobo medio destro, RL: lobo inferiore destro.

I principali vantaggi di questo modello sono:

- l'esatta risoluzione delle equazioni di bilancio della massa utilizzando una struttura realistica del polmone;
- la determinazione delle frazioni medie depositate, basate su una descrizione realistica della morfologia umana;
- la geometria asimmetrica del polmone permette di determinare le variazioni nelle generazioni delle vie aeree o nelle regioni del polmone.

I dati morfometrici attualmente disponibili si applicano solo per le vie aeree in prossimità dei bronchioli.

2.3.2.4 - Modello asimmetrico stocastico o "stochastic multiple-path"

Il modello di deposizione stocastico è stato elaborato in diversi periodi dai ricercatori Koblinger e Hofmann (1990, 1992, 1998, 2002) e simula la traiettoria delle singole particelle (approccio lagrangiano). Questo modello è in continuo aggiornamento in seguito alla disponibilità di nuovi dati o all'introduzione di nuovi meccanismi, quale la rimozione della particella (Hofmann e Sturm, 2004).

La geometria della via aerea attualmente usata è basata sulle analisi statistiche dei dati morfometrici dei bronchioli e degli alveoli.

Nel modello di deposizione asimmetrico stocastico IDEAL (Inhalation, Deposition and Exhalation of Aerosols in the Lung) di Koblinger e Hofmann (1990, 1992), il termine "deposito stocastico di particelle" definisce la quantità di particelle ispirate trasportate attraverso una struttura asimmetrica stocastica del polmone, selezionandone casualmente una sequenza di vie aeree per ogni singola particella; definiti questi parametri si applicano i modelli stocastici del metodo Monte Carlo.

Il sistema di ramificazione della via aerea è rappresentato a forma di Y, nella biforcazione si individua l'unità principale che a sua volta si suddivide in due rami asimmetrici. In questo modello si prende in considerazione la geometria del polmone e le sue biforcazioni anziché considerare le vie aeree a dei cilindri. Si fa riferimento al numero delle biforcazioni delle vie aeree invece di utilizzare i numeri della generazione tuttavia, questa considerazione di base non incide sul calcolo del deposito delle particelle.

Come conseguenza di una determinata sequenza delle vie aeree, tutti i percorsi delle particelle inspirate sono diversi l'uno dall'altro; quanto sopra vale anche per definire il valore della frazione di deposizione.

Statisticamente, si può calcolare la deposizione totale, regionale e generazionale simulando i percorsi casuali di molte particelle.

Dato che le informazioni sul trasporto e sulla deposizione delle diverse particelle all'interno delle biforcazioni della via aerea sono attualmente limitate, il calcolo del deposito, si basa sul comportamento medio di un insieme di particelle, utilizzando equazioni analitiche nei differenti meccanismi presenti.

Per definire il quantitativo di particelle depositate si fa ricorso al metodo Monte Carlo con il quale si definiscono delle stime attraverso delle simulazioni e si basa su di un algoritmo che genera una serie di soluzioni. L'algoritmo Monte Carlo è un metodo analitico che viene utilizzato per trovare le soluzioni di problemi matematici, che possono avere molte variabili e che non possono essere risolti facilmente; con esso si può definire una soluzione a problemi con crescita esponenziale nel tempo. In questo modello per migliorare l'applicazione del metodo Monte Carlo si riduce il numero di iterazioni; si ipotizza che il peso statistico della particella inalata è superiore rispetto a quello deposito sul polmone.

L'attuale conoscenza più realistica di una struttura polmonare determina una caratteristica principale nei modelli di deposizione stocastici; ciò permette di calcolare la quantificazione delle distribuzioni e delle frazioni depositate con riferimento ai parametri di variabilità dimensionale e l'asimmetria di ramificazione delle vie aeree.

Inoltre, la deposizione in ciascun soggetto può essere determinato applicando un fattore di scala lineare, derivato dalle analisi funzionali polmonari e dalle dimensioni lineari della via aerea oppure analizzando le correlazioni statistiche fra i differenti parametri.

Comunque, si deve tener conto che la geometria stocastica del polmone è derivata dalle dimensioni di un singolo polmone e quindi può essere variabile da individuo a individuo. Tuttavia, questa limitazione si applica a tutti i modelli morfometrici del polmone attualmente disponibili.

2.4 – Confronto tra i diversi modelli di deposizione

Durante un normale ciclo di respirazione si inalano particelle sospese nell'aria. Gli effetti sulla salute sono correlate alle quantità di particelle che si depositano nell'intero sistema polmonare o in una determinata regione del tratto respiratorio. Per alcuni modelli di deposizione sono state determinate le quantità di particelle depositate nel tratto tracheale in relazione ad un pre-filtraggio dell'aria inalata attraverso le cavità orali e/o nasali.

La deposizione è direttamente collegata al numero delle particelle inalate durante la respirazione. Per le esposizioni continue, le frazioni cumulative depositate nell'unità di tempo, per esempio in minuti o ore, rappresentano un appropriato indicatore di rischio.

Tali frazioni cumulative si ottengono moltiplicando le frazioni depositate in ogni respirazione per il numero di respiri effettuati in un minuto o in un'ora.

Con gli attuali modelli di deposizione si possono determinare le quantità di particelle depositate per valutare gli effetti sulla salute nei polmoni e si analizzano le deposizioni totali, regionali e generazionali.

I risultati ottenuti per ciascuna quantità depositata, possono essere comparati con i cinque modelli concettuali discussi precedentemente e, questo, ci permette di esaminare il ruolo della morfometria del polmone con le relative espressioni matematiche utilizzate in ciascun modello.

2.4.1 - Deposizione totale

Con la figura 25 si mettono a confronto i valori di deposizione totale, in funzione delle dimensioni della particella, esaminando i cinque differenti modelli

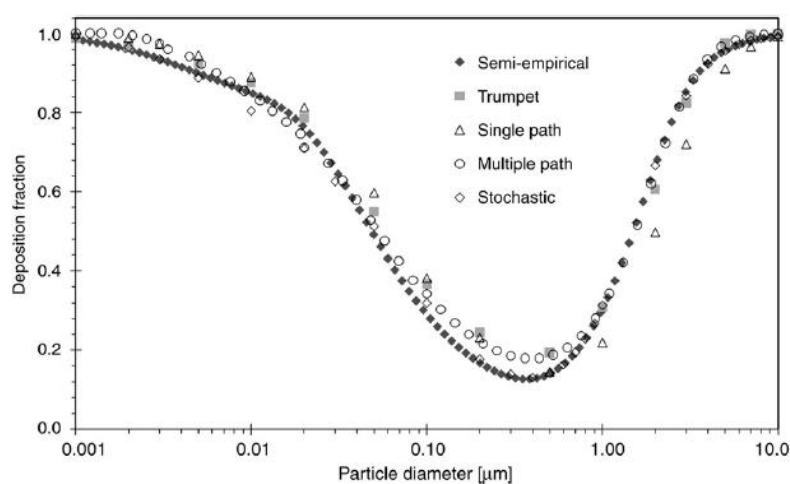


Figura 25 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione totale di particelle in condizioni di riposo e respirazione nasale.

Si osserva che l'andamento della frazione depositata nei modelli varia in un range di circa il 10%. Queste differenze sono causate probabilmente dall'applicazione di differenti modelli morfometrici del polmone e dalle equazioni analitiche utilizzate.

L'andamento della curva ad U è determinato dal predominio dell'azione dei moti browniani per le particelle con diametro inferiori a $0,1 \mu\text{m}$, mentre si ha un effetto di sedimentazione e d'impatto in presenza di particelle con diametro superiore ad $1 \mu\text{m}$.

Si osserva inoltre che, in presenza di particelle fini, il deposito totale ha lo stesso andamento per le inalazioni nasali ed orali; in presenza di particelle grossolani la respirazione nasale limita i depositi per effetto di un sistema filtrante più efficiente.

2.4.2 - Deposizione regionale

Nelle figure seguenti vengono rappresentati le deposizioni nasali in condizioni di riposo, nei diversi modelli analizzati.

Nel primo grafico viene rappresentata la deposizione nella regione extratoracica. Si evince un andamento simile in tutti i modelli analizzati, eccetto che per le particelle ultrafine dove la variazione cambia in un range del 10%.

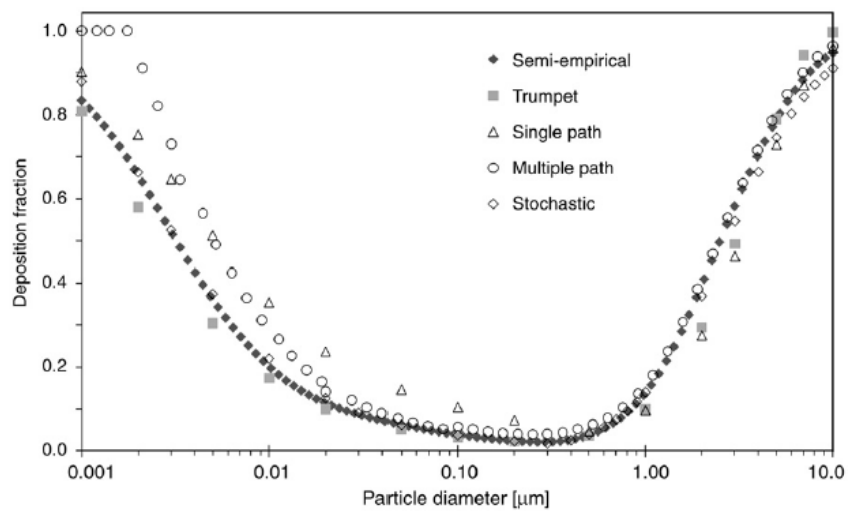


Figura 26 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nella regione extratoracica in condizioni di riposo e respirazione nasale.

Nel secondo grafico, con una struttura a sella con due picchi, viene rappresentata l'andamento della frazione depositata nella regione tracheobronchiale: un picco in presenza di nano-particelle e l'altro in presenza di particelle con diametro superiore a 1 μm . La deposizione decresce velocemente in presenza di particelle superiori a 0,01 μm per effetto di un elevata efficienza di filtraggio delle mucose nasali; il secondo picco, indicato nel grafico, mostra una curva di deposizione meno evidente quando si inalano particelle grossolane.

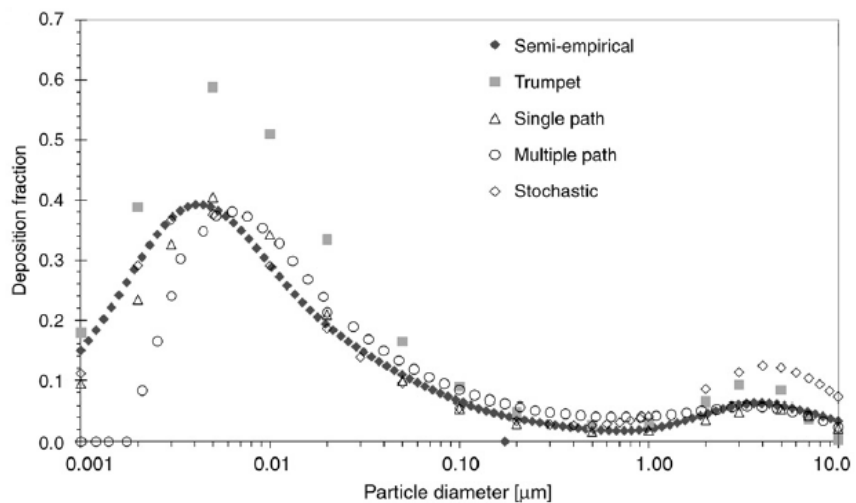


Figura 27 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nella regione tracheobronchiale in condizioni di riposo e respirazione nasale.

Nel terzo grafico è rappresentata la deposizione nella regione alveolare con un andamento a sella a due picchi. La riduzione della frazione di deposizione è molto bassa in presenza di particelle con diametro inferiore a $0,003\ \mu\text{m}$ ed è relativamente alta in presenza di particelle superiori a $5\ \mu\text{m}$; dall'analisi viene evidenziata l'elevata efficienza di deposizione nella regione extratoracica e tracheobronchiale.

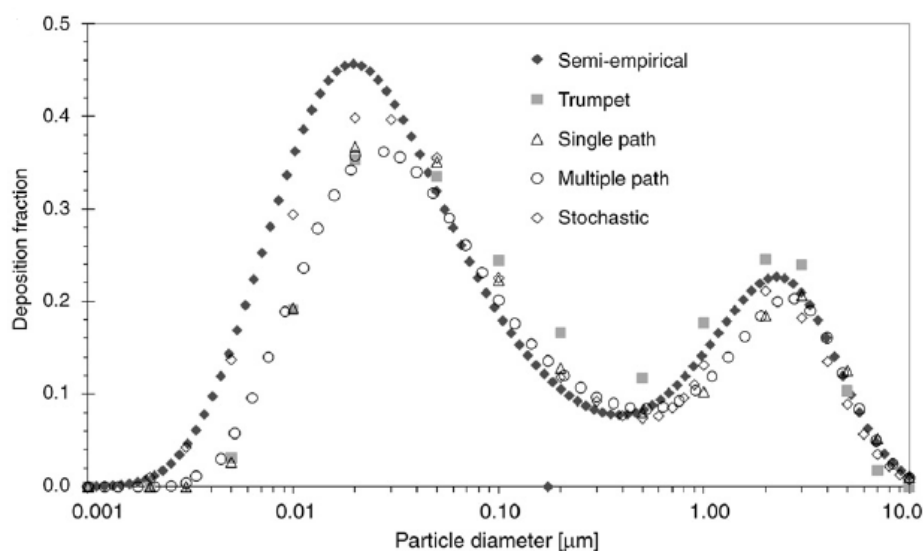


Figura 28 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nella regione alveolare in condizioni di riposo e respirazione nasale.

2.4.3 - Deposizione generazionale

Nella figura 28 sono rappresentate le frazioni di deposizione, in relazione ai numeri di generazione in condizioni di riposo e di respirazione nasale.

Le curve mostrano che le particelle inalate si depositano soprattutto nella zona alveolare. Nonostante aumenti l'efficienza di deposizione per effetto della penetrazione nel polmone, il numero delle particelle che realmente raggiungono le cavità alveolare diminuiscono drasticamente a causa delle capacità filtranti nelle zone respiratorie precedenti. Tutti i quattro i modelli mostrano la stessa curva di deposizione, si notano delle differenze di frazioni depositate con l'aumento del numero di generazioni.

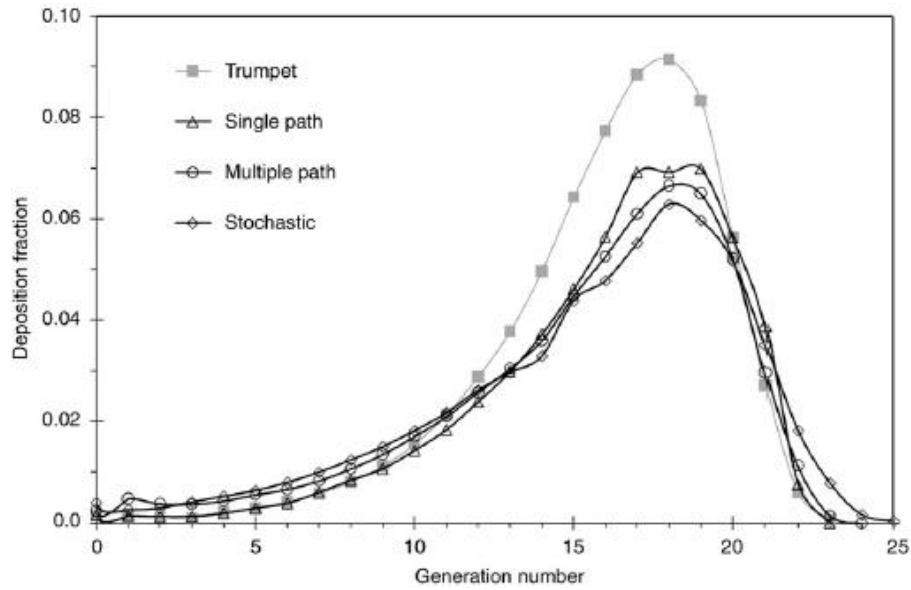


Figura 29 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nelle vie aeree in condizioni di riposo.

2.5 - Calcolo di deposizione in un modello asimmetrico proposto da Horsfield

La concentrazione di particelle nel primo ramo è presupposta pari a zero.

Il calcolo della concentrazione nelle vie aeree successive si ottiene utilizzando delle formule empiriche che sono:

$$C_{inh}^{k,0} = C_{inh}^{par(k),1} (1 - \eta_i)$$

$$C_{inh}^{k,1} = C_{inh}^{k,0} (1 - \eta_s)(1 - \eta_d)$$

dove

$C_{inh}^{par(k),1}$ = concentrazioni all'uscita del ramo genitore

$C_{inh}^{k,0}$ = concentrazione all'ingresso del ramo

$C_{inh}^{k,1}$ = concentrazione all'uscita del ramo

η_i = efficienza di deposizione dovuto all'impatto

η_s = efficienza di deposizione dovuto alla sedimentazione

η_d = efficienza di deposizione dovuto alla diffusione

Per calcolare la massa depositata in ingresso e in uscita si utilizzano le seguenti formule:

$$m_{in}^k = \int_0^{T_{inh}} F^{k,0} C_{inh}^{par(k),1}(t) dt = C_{inh}^{par(k),1} (T_{inh} - t_{inh}^{par(k)}) F^{k,0}$$

$$m_{out}^k = \int_0^{T_{inh}} F^{k,1} C_{inh}^{k,1}(t) dt = C_{inh}^{k,1} (T_{inh} - t_{inh}^k) F^{k,1}$$

$$m_{rem}^k = A^k \int_0^{L^k} C_{inh}^{k,1}(x) dx \approx \frac{C_{inh}^{k,0} + C_{inh}^{k,1}}{2} L^k A^k$$

in cui m_{rem} rappresenta la massa non depositata che rimane nel ramo dopo l'inalazione e l'esponente K indica il numero del ramo.

Usando le equazioni precedenti, la massa depositata è:

$$m_{dep} = m_{int} + m_{in} - m_{out} - m_{rem}$$

m_{int} è la massa iniziale nel ramo che è pari a zero.

La deposizione dovuta alla diffusione è calcolato tramite la formula di Ingham:

$$\eta_d = 1 - 0,819 \exp(-3,66\Delta_d) - 0,0976 \exp(-22,31\Delta_d) - 0,0325 \exp(-57\Delta_d) - 0,0509 \exp(-49,96\Delta_d^{2/3})$$

in cui: $\Delta_d = \frac{DL}{UR^2}$

Dove:

L = lunghezza,

U = velocità,

R = raggio del ramo,

D = coefficiente di diffusione che è pari a :

$$D = \frac{KTC_c}{3\pi\mu d}$$

ove K è la costante di Boltzmann, T è la temperatura del flusso, μ è la viscosità dell'aria, d il diametro della particella e C_c è fattore di correzione di slittamento calcolato usando le seguenti formule analitiche:

$$C_c = 1 + \frac{252\lambda}{d} \quad \text{se } d > 0,1 \mu m$$

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d[2,34 + 1,05 \exp(-0,39\lambda/d)]} \quad \text{se } d < 0,1 \mu m$$

dove λ indica la lunghezza del cammino libero medio delle molecole d'aria.

Per la deposizione dovuta all'impatto si utilizza la formula proposta da Cai e Yu, che è in funzione del raggio del ramo e dell'angolo di biforcazione.

$$\eta_i = \frac{8 \sin \theta f_1 \left(\theta, \frac{R}{R_0} \right)}{\frac{R}{R_0} f_0 \left(\theta, \frac{R}{R_0} \right)}$$

In cui

$$f_0 = \pi - \left(\frac{\pi}{4} + \left(\frac{5}{4}\pi - \frac{8}{3} \right) \cos^2 \theta \right) \left(\frac{R}{R_0} \right)^2$$

$$f_1 = 1 + \left(-\frac{1}{3} + \left(\pi - \frac{11}{3} \right) \cos^2 \theta - \frac{\sin \theta}{3} \right) \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 + \left(\left(\frac{2}{3} - \frac{\pi}{8} \right) \cos^2 \theta + \frac{\sin^2 \theta}{5} \left(6 - \right. \right.$$

$$\left. \left. 158\pi \cos 4\theta + 715 - \pi 8 \sin 2\theta \cos 2\theta \right) \left(\frac{R}{R_0} \right)^4 \right)$$

Per quanto riguarda la deposizione dovuta alla sedimentazione, si utilizza la formula di Pich:

$$\eta_s = \frac{2}{\pi} \left(2\varepsilon \sqrt{1 - \varepsilon^{2/3}} - \varepsilon^{1/3} \sqrt{1 - \varepsilon^{2/3}} + \sin^{-1} \varepsilon^{1/3} \right)$$

Dove:

$$\varepsilon = \frac{3Lv_s}{8RU}$$

L e R sono rispettivamente la lunghezza e il raggio del ramo, U è la velocità del flusso e v_s è la velocità terminale della particella ed è uguale a:

$$v_s = \frac{\rho_p d^2 g}{18\mu}$$

ρ_p è la densità della particella, d il diametro della particella e μ la viscosità dell'aria.

Nella tabella seguente vengono forniti i dati di alcuni parametri:

Tabella 9 – Valori utili per il modello di Horsfield

Densità dell'aria	1,125 kg/m ³
Viscosità dell'aria [μ]	1,8x10 ⁻⁵
Temperatura del flusso [T]	310 K
Diametro particella [d]	0,01 ÷ 10 μ m
Densità particella [ρ_p]	1000 kg/m ³
Lunghezza del cammino libero medio delle molecole d'aria [λ]	0,066 μ m
Costante di Boltzmann [K]	1,38x10 ⁻²³

CASO STUDIO: STIMA DEL DEPOSITO DURANTE UN PERCORSO PEDONALE A MILANO

3.1 – Materiali e metodi

Tra i modelli proposti nel capitolo precedente si è deciso di applicare il modello ICRP1994 per determinare il deposito del particolato nella regione extratoracica, tracheobronchiale e alveolare.

3.1.1 – Percorso pedonale

Il rilievo delle concentrazioni del particolato atmosferico è stato effettuato lungo un percorso pedonale che collega l'università Politecnico con il centro di Milano e ritorno per una durata complessiva di circa 3 ore.

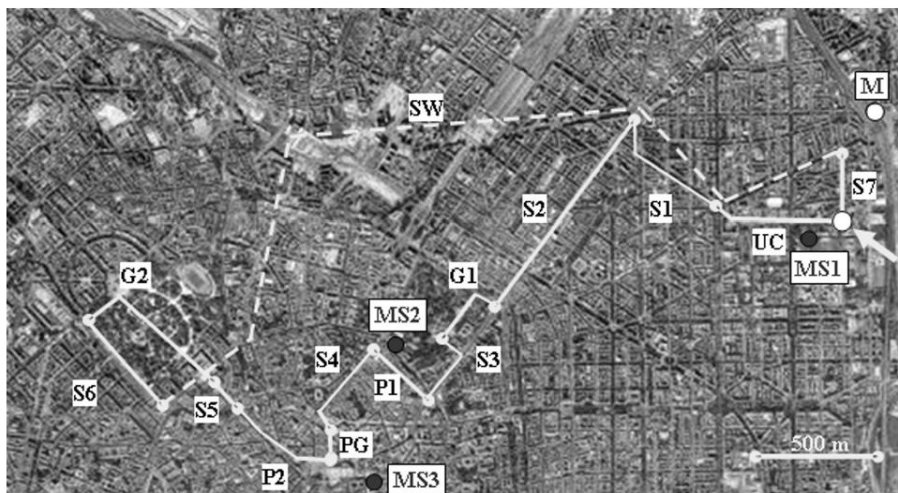


Figura 30 - Mappa del percorso

Ai fini delle successive elaborazioni il percorso è stato suddiviso in 14 settori di cui 13 esposti all'aria aperta ed uno corrispondente al tragitto sotterraneo con la metropolitana di durata pari a 20 minuti.

Nella tabella 10 vengono riportate le caratteristiche principali dei vari settori, con particolare riferimento alle caratteristiche strutturali del tratto stradale e più precisamente al numero di carreggiate e corsie, al tipo di pavimentazione stradale, alla presenza o meno di binari del tram.

Tabella 10 - Descrizione di ogni settore del percorso pedonale.

SETTORE	CARATTERISTICHE	DESCRIZIONE
UC	Campus universitario	Strada a doppia corsia, singola carreggiata e presenza di binari del tram
S1	Strada ad alto traffico	Strada a doppia corsia e doppia carreggiata con 2 linee riservate ai mezzi pubblici
S2	Strada ad alto traffico	Strada a doppia corsia e doppia carreggiata con presenza di semafori causando code di veicoli
G1	Parco	Marciapiedi sterrati
S3	Zona a bassa emissione	Strada a doppia corsia e doppia carreggiata con restringimento in due corsie e a singola carreggiata
P1	Zona pedonale	Strada stretta in zona commerciale
S4	Zona a bassa emissione	Strada a doppia corsia e a singola carreggiata, strada lastricata e presenza di binari del tram
PG	Galleria pedonale	Strada coperta che collega la piazza di Milano
P2	Zona pedonale	Principale piazza centrale
S5	Zona a bassa emissione	Strada a doppia corsia e a singola carreggiata
G2	Parco	Parco centrale con marciapiedi sterrati
S6	Zona a bassa emissione	Strada a doppia corsia e a singola carreggiata
SW	Metropolitana	Ferrovia sotterranea
S7	Strada laterale	Strada a doppia corsia, singola carreggiata con basso traffico veicolare

In termini di intensità del traffico è stato rilevato che nei settori S1 e S2 sussiste un alto regime di traffico veicolare di circa 1.5-2mila automezzi all'ora, mentre negli altri settori è stato registrato un traffico veicolare molto inferiore, pari a pochi centinaia di unità all'ora.

nei tratti del percorso del centro città con traffico limitato (zona a transito limitato - settori S3, S4, S5, S6), si è rilevato una riduzione del 30% del numero totale di veicoli in transito, nonostante questa limitazione il flusso è pari dai 300 ai 400 veicoli all'ora.

Nella tabella 11 sono indicati i valori medio, massimo e minimo della durata di campionamento durante ciascun settore di monitoraggio del percorso.

Tabella 11 - Media, massimo e minimo del tempo di permanenze nei vari settori

SETTORE	TEMPO MEDIO	MAX	MIN
UC	9	11	8
S1	16	19	10
S2	28	31	20
G1	8	11	6
S3	9	13	6
P1	11	15	8
S4	7	8	6
PG	5	12	3
P2	10	11	8
S5	9	11	6
G2	13	17	10
S6	10	13	5
SW	23	29	18
S7	8	10	6

Il percorso di riferimento per il monitoraggio è stato eseguito durante 9 giorni feriali nel mese di maggio 2010 sia nelle ore della tarda mattinata (dalle ore 10 alle ore 12.30) sia nel primo pomeriggio (dalle ore 13:30 alle ore 16:30). Inoltre, l'intero percorso è stato monitorato anche una domenica pomeriggio (09 maggio), quando gli assi stradali corrispondenti ai settori S2 e S3 erano chiusi alla circolazione. Come si evince nei grafici successivi, la suddetta restrizione determinerà una notevole riduzione di deposito del particolato nel tratto respiratorio rispetto ad un giorno lavorativo.

Nella tabella 12 vengono indicati i giorni in cui sono stati effettuati i monitoraggi in relazione alla velocità del vento e al tasso di precipitazione.

Tabella 12 - Giorni rilevati e le rispettive condizioni meteorologiche

Data	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Velocità del vento U [m/s]	Tasso di precipitazione massima [mm]
Venerdì 30 aprile pomeriggio	19	38	0.83	0
Lunedì 03 maggio mattina Lunedì 03 maggio pomeriggio	6	12	0.5 0.6	8.4
Mercoledì 05 maggio mattina Mercoledì 05 maggio pomeriggio	9	15	0.27 0.73	3.1
Venerdì 07 maggio mattina Venerdì 07 maggio pomeriggio	10	18	0.4 0.5	0.2
Domenica 09 maggio pomeriggio	10	16	1.1	2.2
Mercoledì 12 maggio mattina Mercoledì 12 maggio pomeriggio	10	18	0.97 1.05	1.4
Venerdì 14 maggio pomeriggio	13	18	0.93	1.2
Mercoledì 19 maggio mattina Mercoledì 19 maggio pomeriggio	16	36	0.9 1.5	0
Lunedì 24 maggio mattina Lunedì 24 maggio pomeriggio	15	28	0.53 1.18	0
Mercoledì 26 maggio mattina Mercoledì 26 maggio pomeriggio	13	28	1.3 1.13	0
Venerdì 28 maggio mattina	21	35	0.47	0

3.1.2 – Strumenti di misura

La concentrazione del particolato è stata determinata tramite l'utilizzo di un contatore ottico di particelle (OPC) e un ricevitore GPS.

I contatori ottici di particelle sono un valido strumento di misura mobile del particolato per la loro capacità di fornire una informazione ad elevata risoluzione temporale sullo spettro dimensionale delle particelle e per le caratteristiche dimensionali e che ne rendono facile il trasporto.

La metodologia di misura sfrutta le proprietà ottiche delle particelle: un fascio di luce laser investe il campione d'aria aspirato in continuo all'interno della camera di misura ed un rilevatore posto a 90° rispetto alla direzione del fascio laser, rileva la luce diffusa dalle particelle. Ogni impulso rilevato corrisponde al passaggio di una particella e all'intensità dell'impulso è correlata la dimensione della particella stessa. Dal numero delle particelle per ogni classe dimensionale, ipotizzando la densità delle particelle, si può calcolare la concentrazione di massa del PM10, del PM2.5 e del PM1 contemporaneamente. Al fine di evitare il conteggio di eventuali goccioline d'acqua aerodisperse, gli strumenti utilizzati sono dotati di un sistema di essiccazione fondato sulla diluizione dell'aria campione con aria secca e pulita.

Nello specifico, lo strumento utilizzato durante le campagne di misura è costituito dal Personal Dust Monit prodotto dalla Con.Tec Engineering Srl. Lo strumento è in grado di misurare la concentrazione in numero di particelle nell'intervallo dimensionale compreso tra 300nm e 10 µm per 7 differenti classi dimensionali: 0.3-0.5; 0.5-0.7; 0.7-1.0; 1.0-2.0; 2.0-3.0; 3.0-5.0; 5.0-10.0 µm. I tempi di elaborazione del segnale sono estremamente rapidi e permettono di ottenere misure in un secondo, fornendo il dato in modo continuo sul periodo di acquisizione.

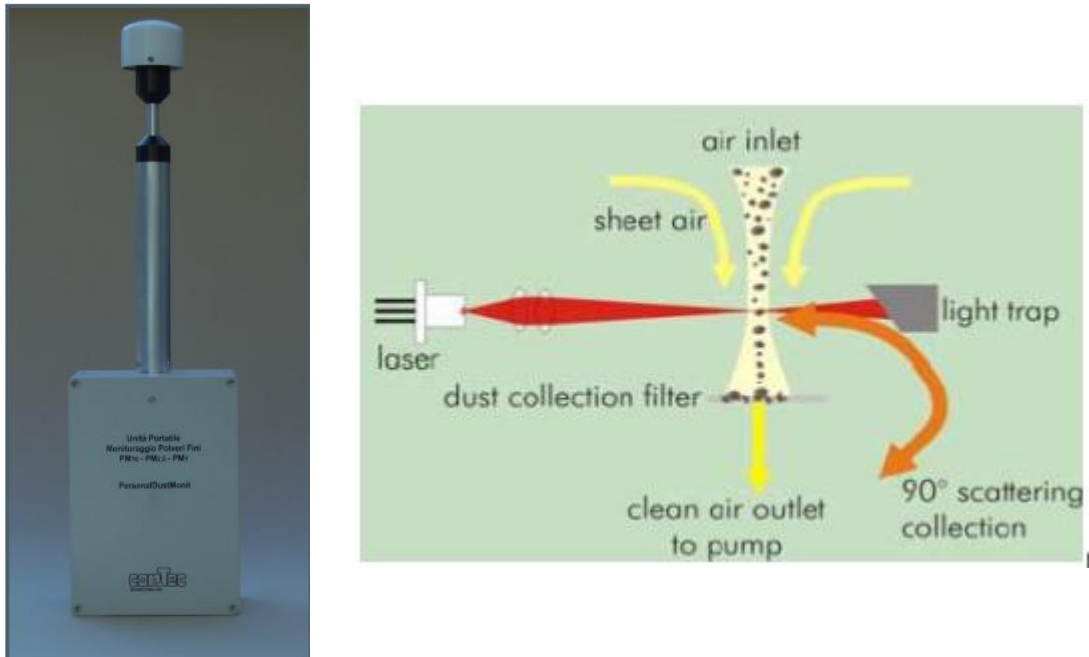


Figura 31 - Immagine e schema di funzionamento del Contatore Ottico di Particelle

3.2 – Risultati

I dati raccolti tramite il monitoraggio sono quantificabili in numero di particelle/litro d'aria inalata. Per facilitare il metodo di calcolo si ipotizza che le particelle abbiano una configurazione sferica in modo da ottenere la relativa massa [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] definita in ogni classe dimensionale. Quindi moltiplicando la massa definita per il ventilation rate (VR), ipotizzando una normale inalazione di 20 l/min, si ottiene una grandezza che definisce il deposito di particolato inalato [$\mu\text{g}/\text{min}$]. In questo modo, applicando le equazioni del modello ICRP, si determina il tasso di deposito nelle varie zone dell'apparato respiratorio [$\mu\text{g}/\text{min}$].

Nell'allegato I sono riportati le statistiche principali dei tassi di deposizione ottenuti nei vari settori di ciascun giorno; ottenuto il tasso di deposizione si procede nel determinare la deposizione [$\mu\text{g}/\text{viaggio}$] nelle varie zone del tratto respiratorio per ciascuna classe dimensionale (Allegato II).

In generale, per definire la massa depositata nei vari tratti, il modello ICRP suddivide l'apparato respiratorio in tre tronchi : HA (zona extratoracica), TB (zona tracheobronchiale) ed AL (zona alveolare).

Nel tratto HA si ha una consistente deposizione di tutte le particelle inalate con una prevalenza di quelle con maggior dimensioni.

Nel tratto TB la deposizione è meno consistente rispetto al tratto HA, con una piccola prevalenza di particelle di maggior dimensioni rispetto a quelle più sottili.

Nel tratto AL si ha una deposizione di particelle con dimensioni inferiori ad 1 μm in una percentuale superiore alle particelle con dimensioni maggiori ad un micron.

Di seguito si presentano in dettaglio i risultati ottenuti per tre giornate caratterizzate da diverse condizioni atmosferiche e/o densità del traffico veicolare effettuando alcune considerazioni comparative.

1° caso – mattina di pioggia e mattina soleggiata

Gli andamenti dei valori del tasso di deposizione nei tre livelli dell'apparato respiratorio (HA - vie respiratorie superiori, TB - Regione tracheo-bronchiale, AL - Regione alveolare) e del corrispondente deposito sono rappresentati nelle Figure dalla 32 alla 39.

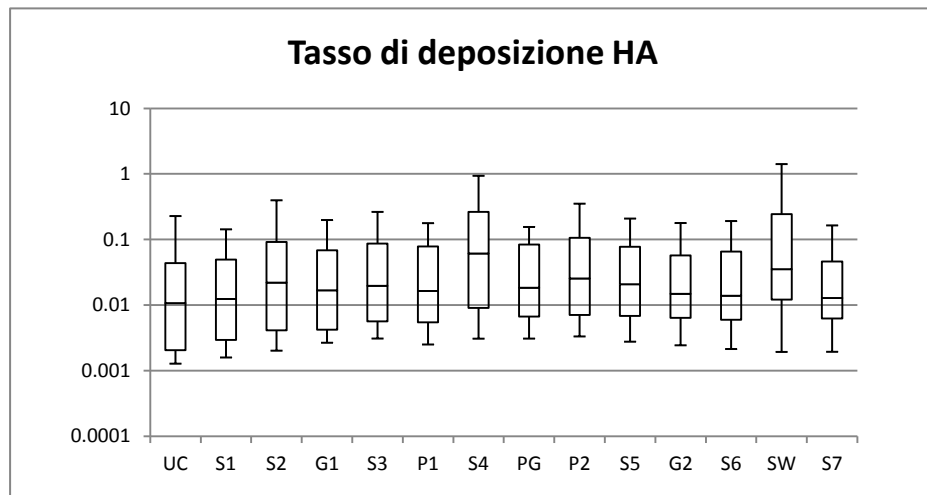


Figura 32 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella mattina di pioggia del 3 maggio

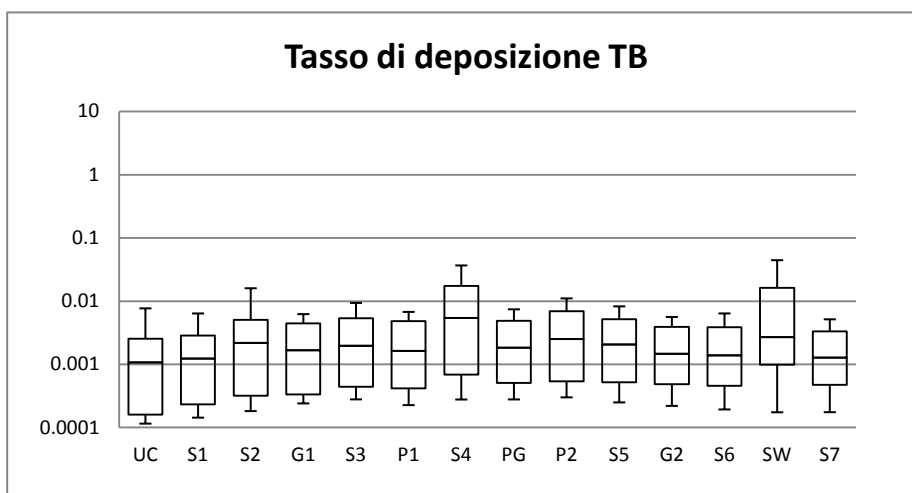


Figura 33 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina di pioggia del 3 maggio

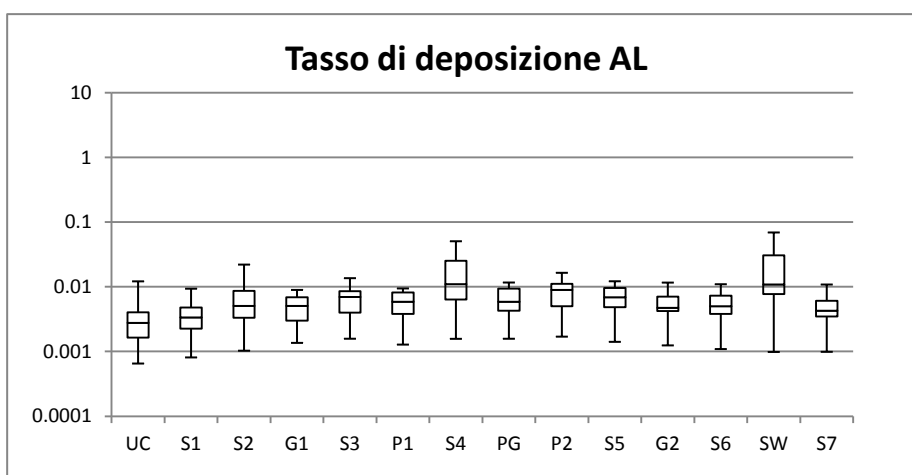


Figura 34 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL nella mattina di pioggia del 3 maggio

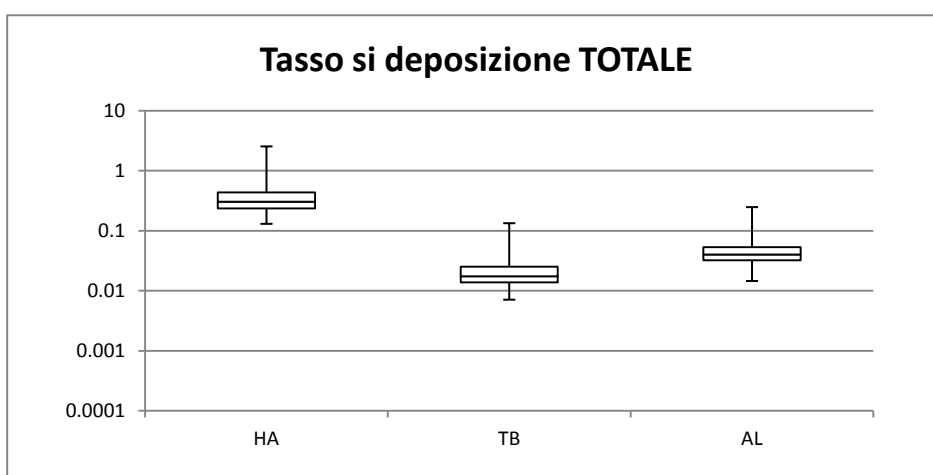


Figura 35 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nella mattina di pioggia del 3 maggio

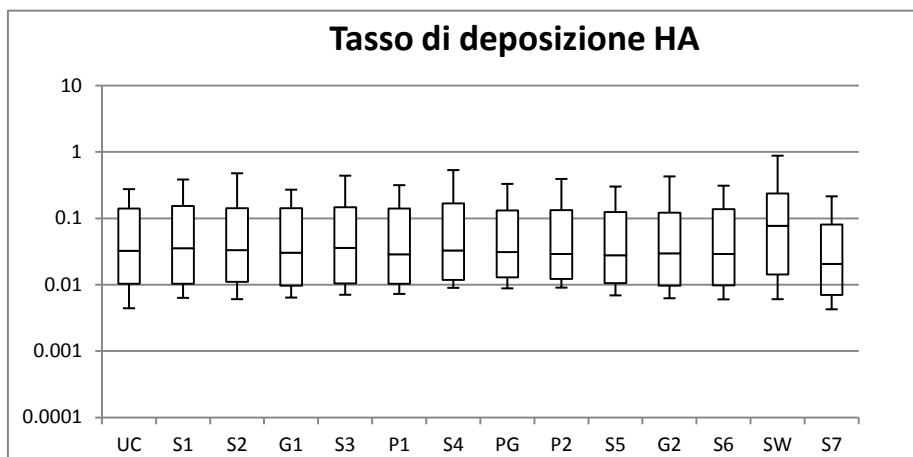


Figura 36 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella mattina di sole del 24 maggio

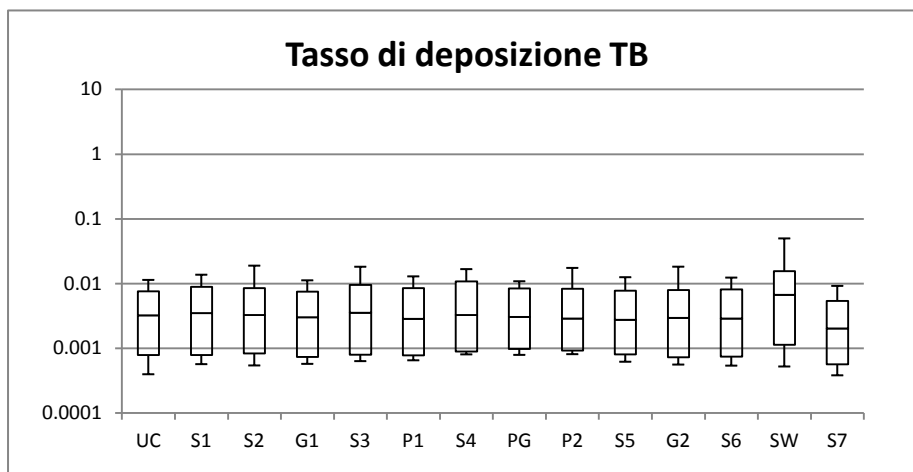


Figura 37 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina di sole del 24 maggio

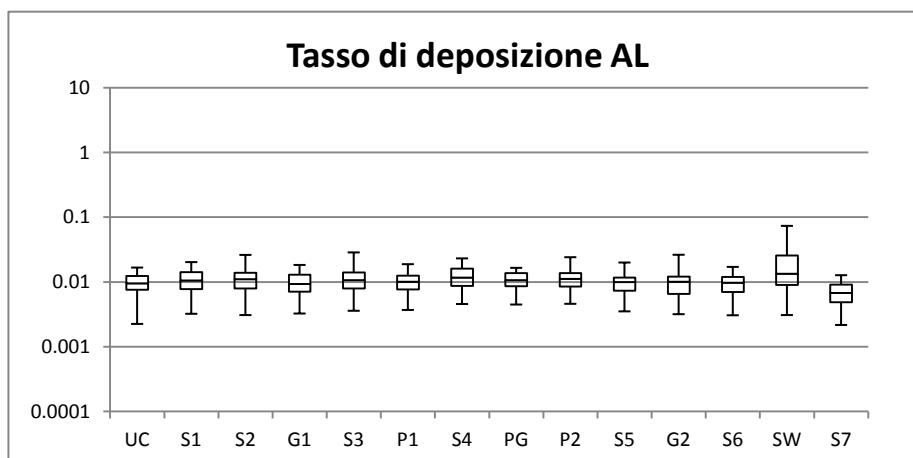


Figura 38 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina di sole del 24 maggio

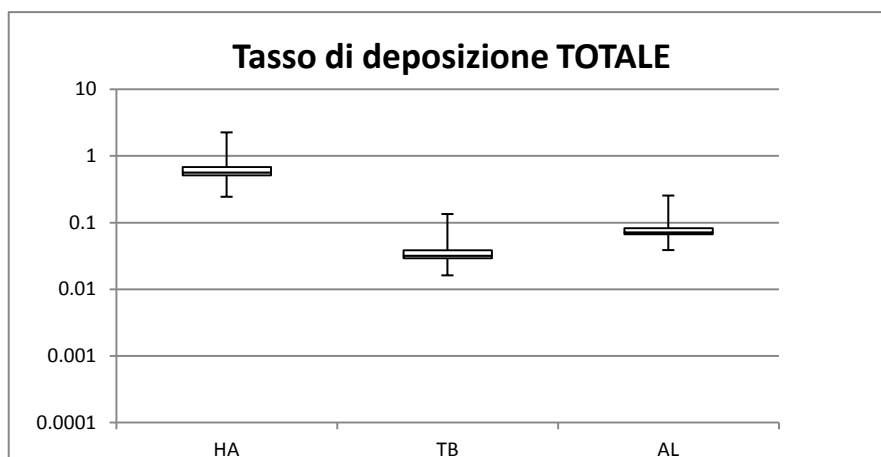


Figura 39 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nella mattina di sole del 24 maggio

In entrambe le giornate, come si può osservare nelle rappresentazioni successive, la distanza interquantile riferita al tasso di deposizione totale è molto piccola e ciò comporta una minor dispersione dei valori. Nell'analisi singola dei tratti si osserva che nella zona HA e TB si ha una maggior dispersione dei valori rispetto al tratto AL.

Le Figure dalla 40 alla 55 riportano invece il dettaglio dell'andamento del deposito durante il percorso con riferimento alle singole classi dimensionali, sempre distinguendo i tre livelli dell'apparato respiratorio.

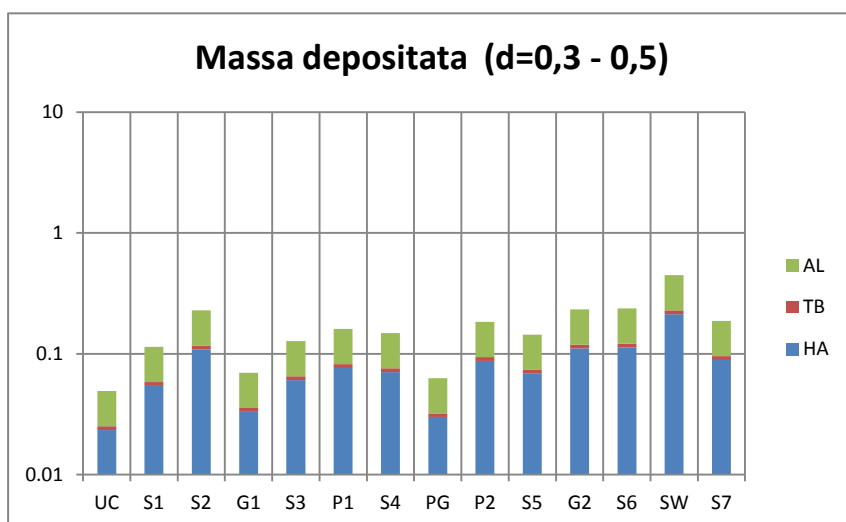


Figura 40 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,3 - 0,5 nella mattina di pioggia del 03 maggio

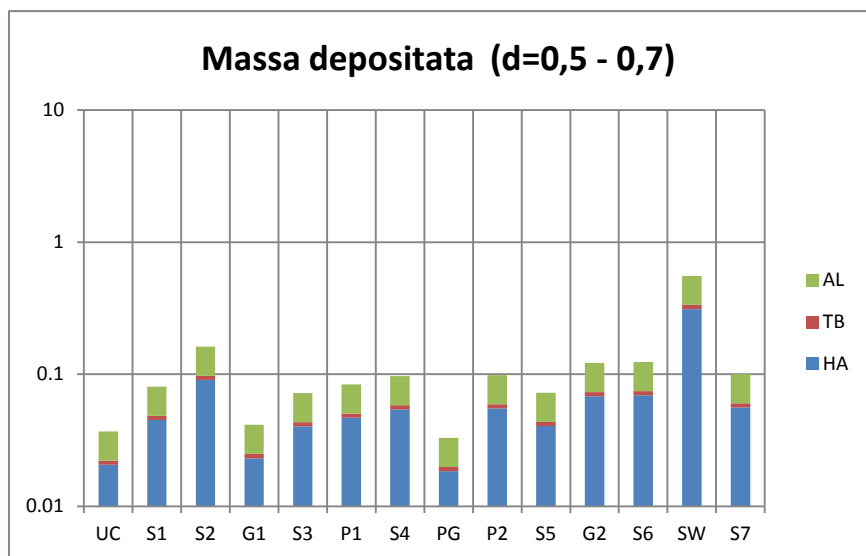


Figura 41 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 - 0,7 nella mattina di pioggia del 03 maggio

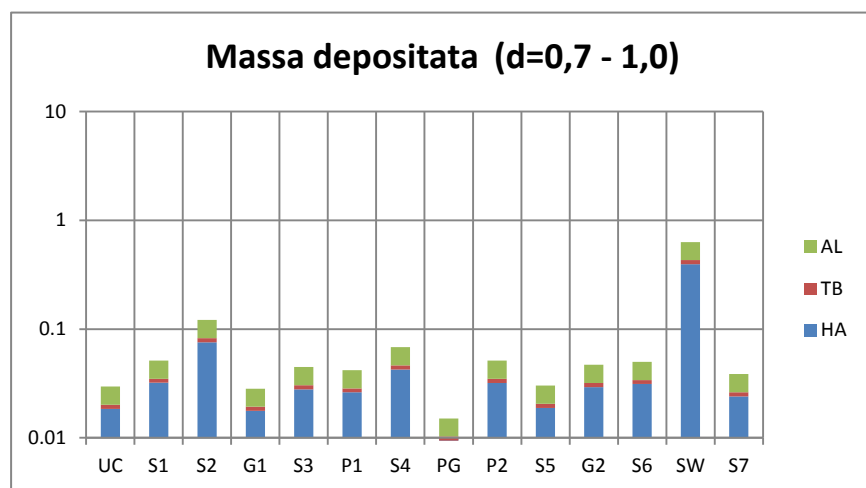


Figura 42 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio

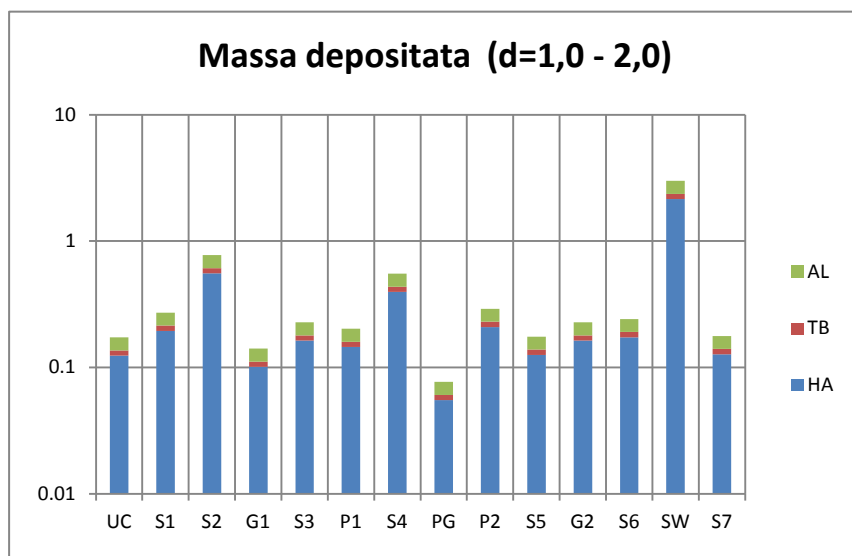


Figura 43 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio

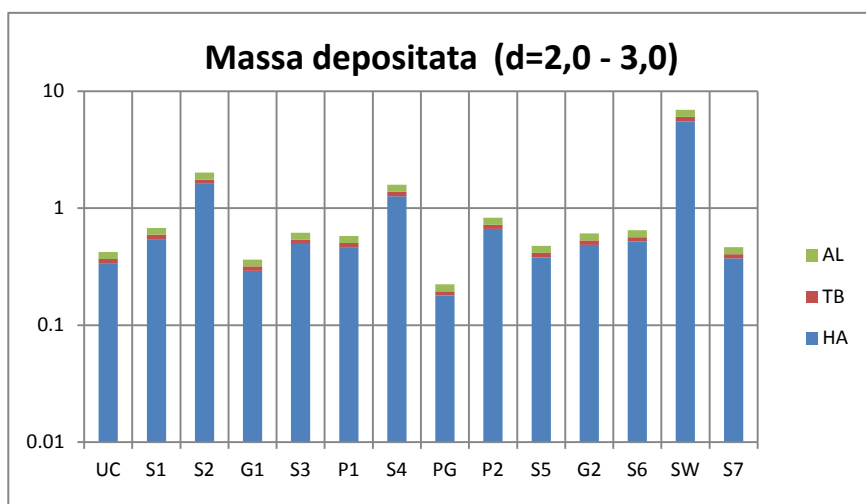


Figura 44 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 - 3,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio

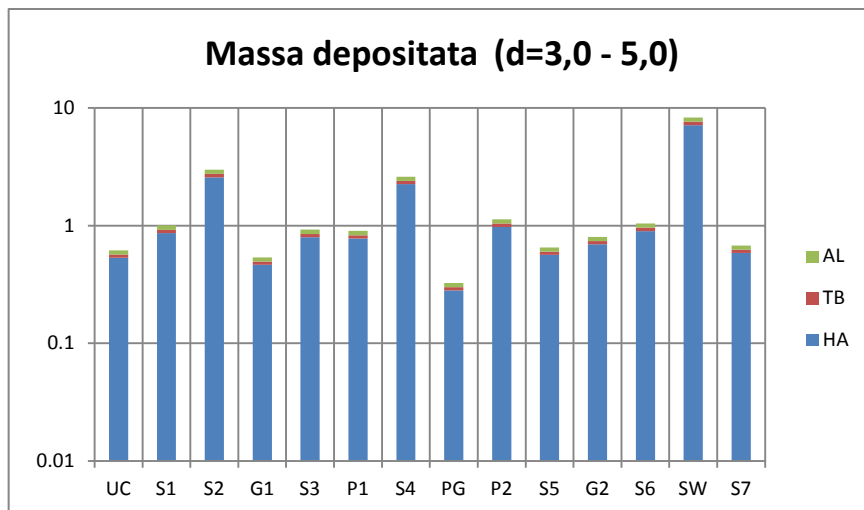


Figura 45 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 - 5,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio

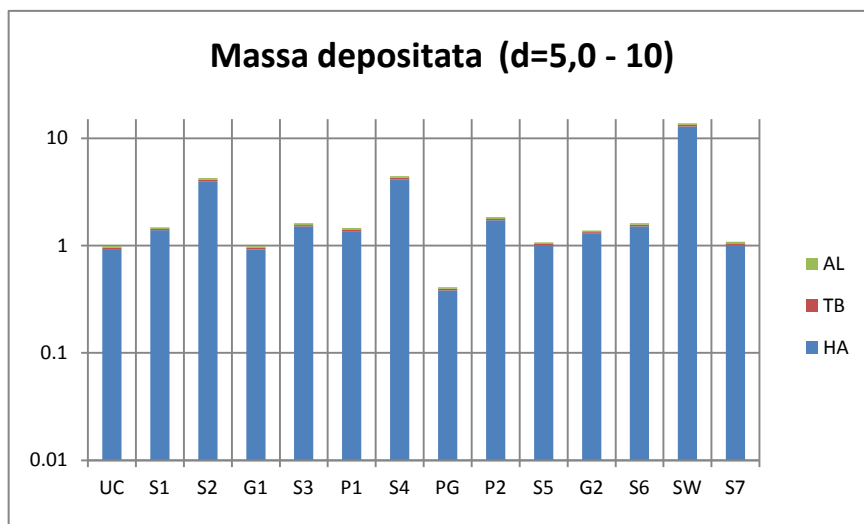


Figura 46 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 - 10 nella mattina di pioggia del 03 maggio

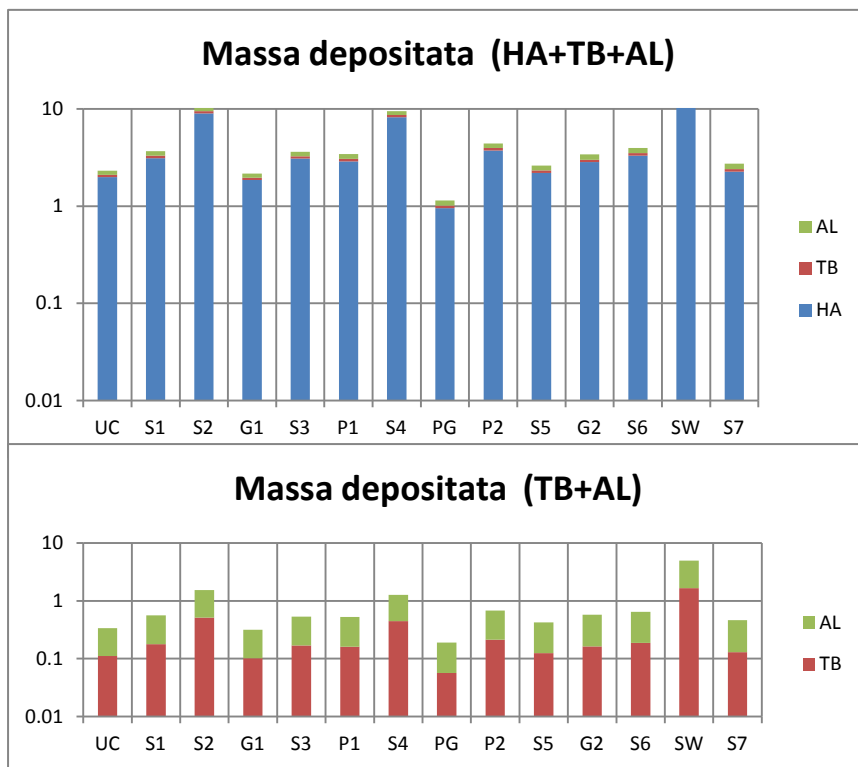


Figura 47 - Massa depositata (µg/viaggio) totale nella mattina di pioggia del 03 maggio

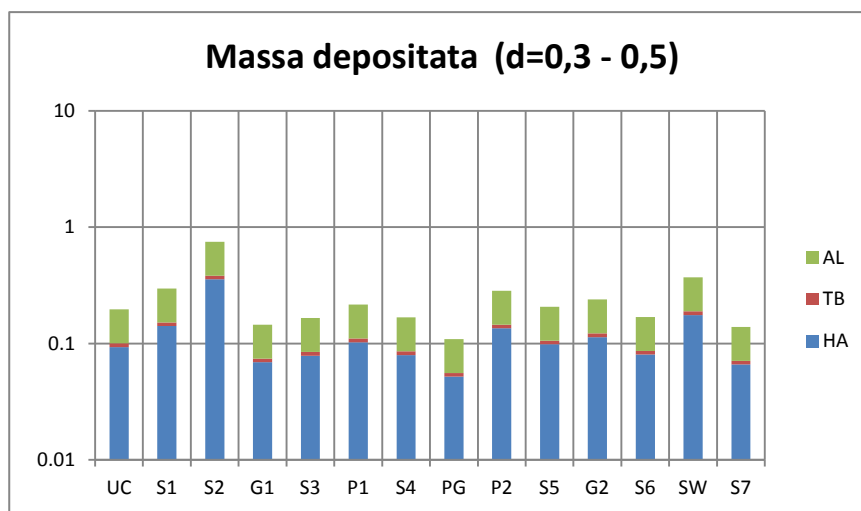


Figura 48 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,3 – 0,5 nella mattina di sole del 24 maggio

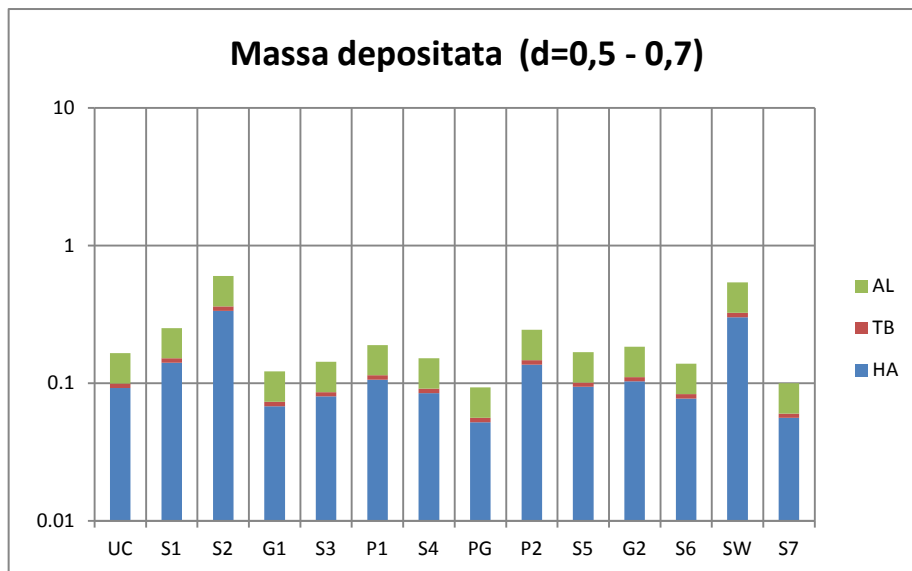


Figura 49 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 - 0,7 nella mattina di sole del 24 maggio

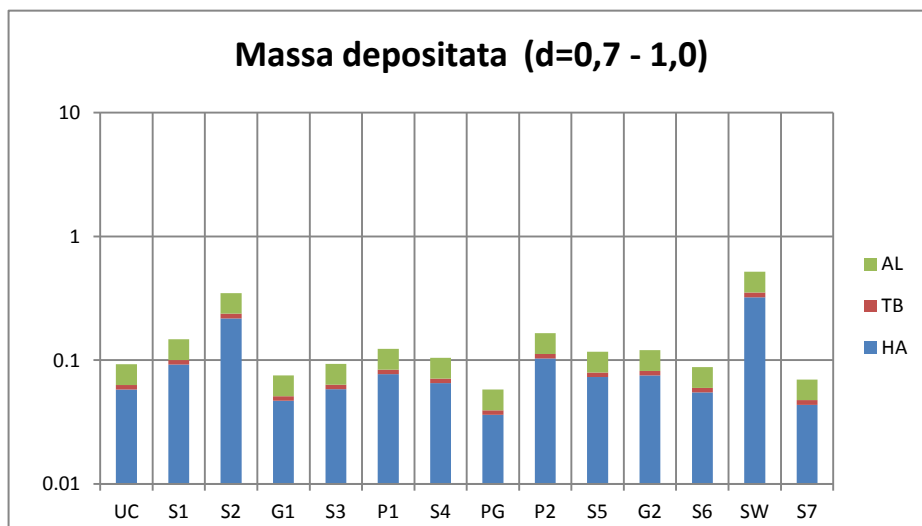


Figura 50 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella mattina di sole del 24 maggio

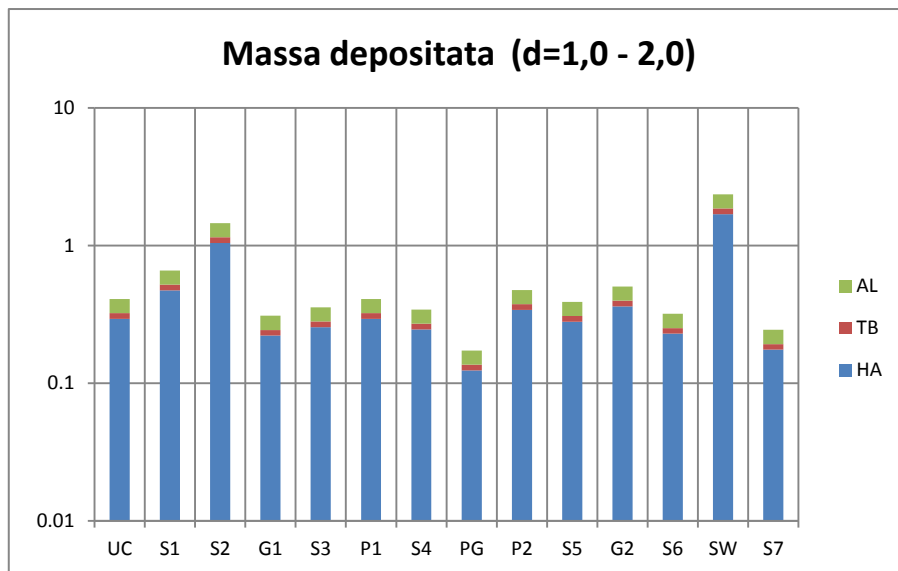


Figura 51 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 -2,0 nella mattina di sole del 24 maggio

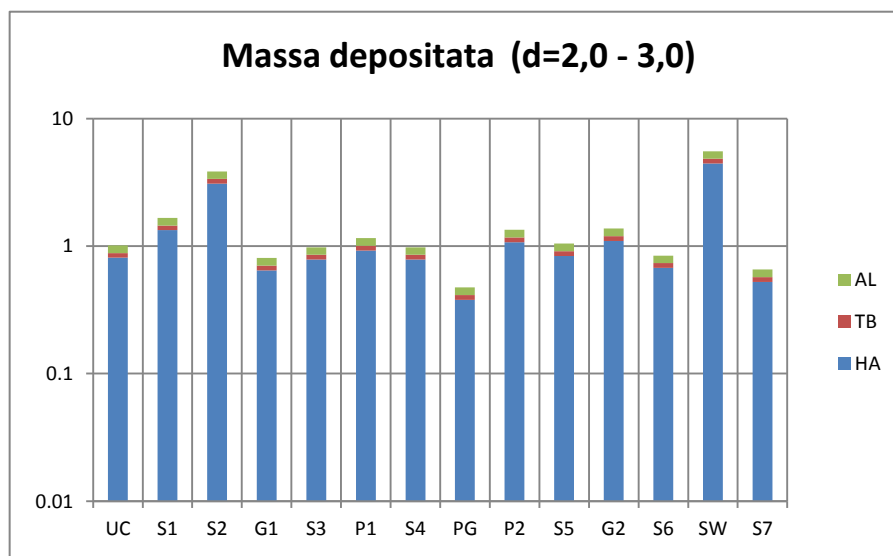


Figura 52 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nella mattina di sole del 24 maggio

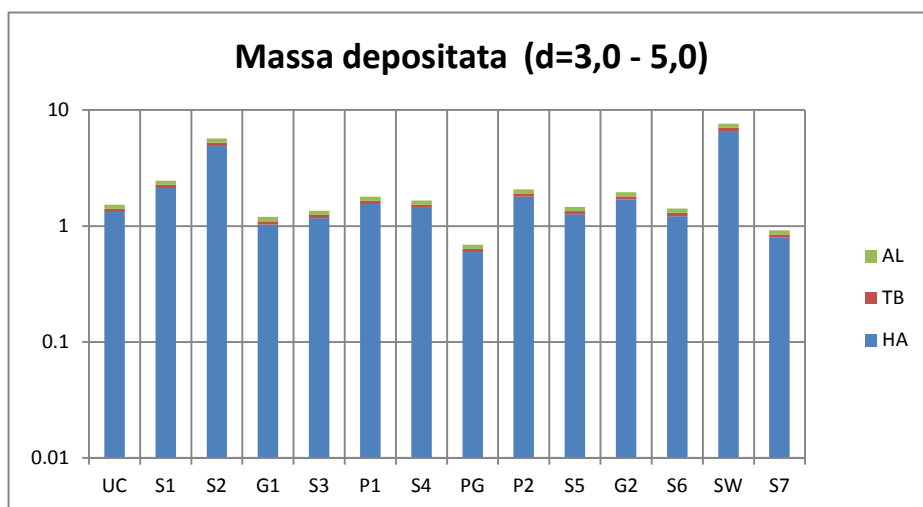


Figura 53 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nella mattina di sole del 24 maggio

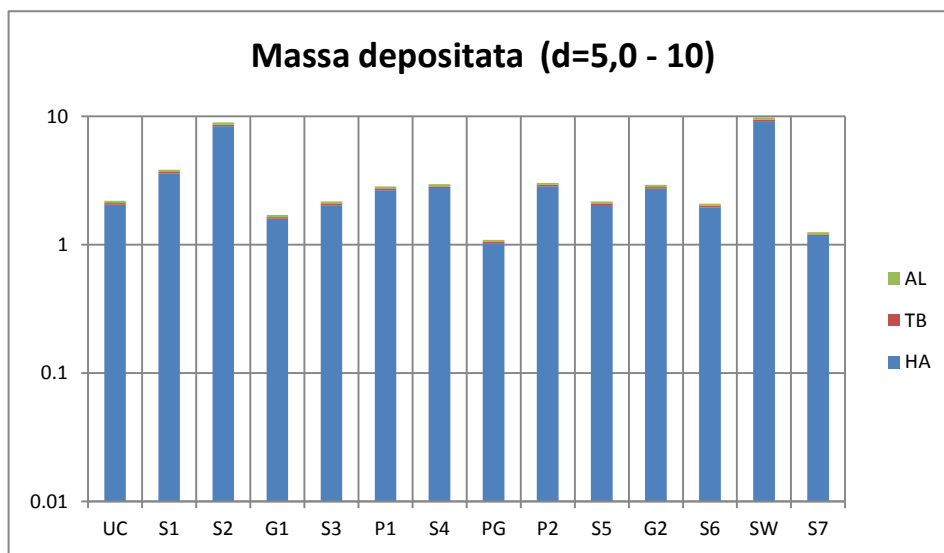


Figura 54 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 – 10 nella mattina di sole del 24 maggio

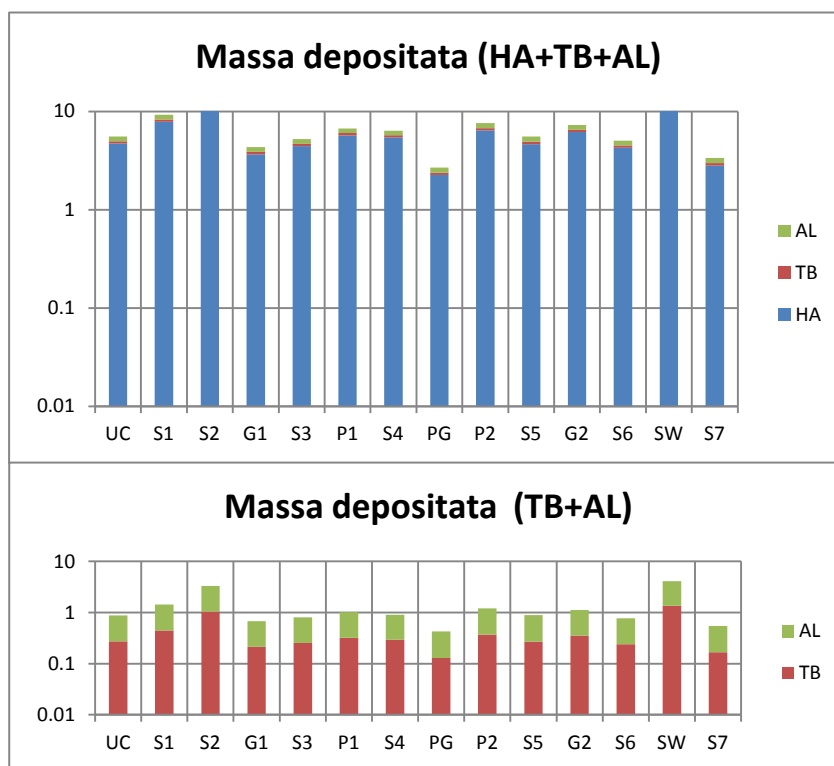


Figura 55 - Massa depositata (µg/viaggio) totale nella mattina di sole del 24 maggio

Complessivamente durante il percorso compiuto la massa di particolato depositata nell'apparato respiratorio è stimata pari a µg

Giorno	Deposito HA	Deposito TB	Deposito AL	Deposito totale
03 maggio	74,11	4,21	8,80	87,12
24 maggio	99,54	5,71	12,35	117,6

Il deposito totale nel giorno del 03 maggio (pioggia) è determinato da quello nella regione HA nella misura del 85% e nel giorno del 24 maggio (sole) del 84%.

L'esame comparato degli andamenti riportati nelle precedenti figure evidenzia i seguenti aspetti:

- a) In una situazione di pioggia, si rileva un'evidente differenza di minor quantità di particelle in sospensione nel particolato, quando queste hanno una dimensione inferiore $1\ \mu\text{m}$. Minore è la dimensione delle particelle e maggiore è la differenza della massa depositata del particolato rispetto a una giornata soleggiata.
- b) Quando le dimensioni delle particelle raggiungono valori superiori a $1\ \mu\text{m}$, la differenza di massa depositata, nelle due diverse situazioni atmosferiche, si riduce notevolmente.
- c) In una valutazione globale, indipendentemente dalle dimensioni delle particelle, in una giornata di pioggia la massa depositata delle particelle nel particolato è inferiore rispetto a una giornata soleggiata.

L'analisi effettuata con riferimento ai due giorni considerati suggerisce pertanto che in una giornata di pioggia, la massa di particelle depositate nell'apparato respiratorio è inferiore rispetto a una giornata soleggiata; questo è dovuto al fatto che le particelle più sottili, le più dannose, sono in parte "catturate" dalle gocce d'acqua.

2° caso – mattinata e pomeriggio in una stessa giornata lavorativa

Gli andamenti dei valori del tasso di deposizione nei tre livelli dell'apparato respiratorio (HA – Vie respiratorie superiori, TB Regione tracheo-bronchiale, AL – Regione alveolare) e del corrispondente deposito sono rappresentati nelle Figure dalla 56 alla 63.

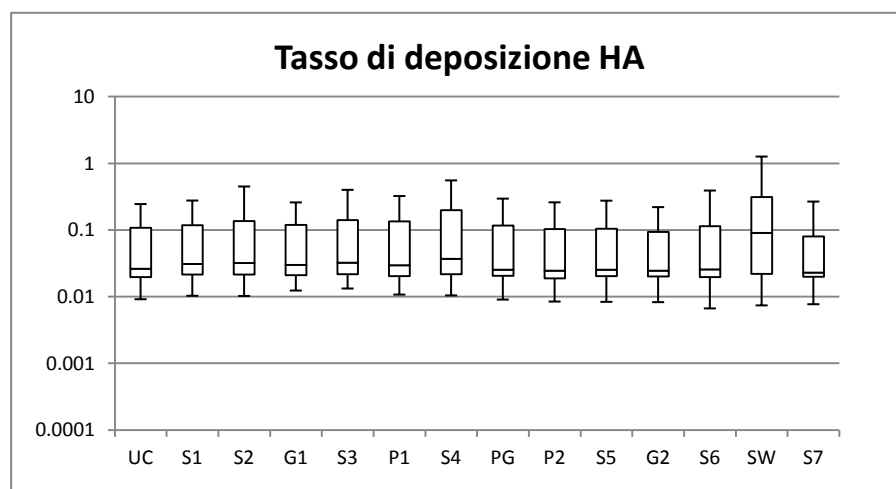


Figura 56 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella mattina del 28 maggio

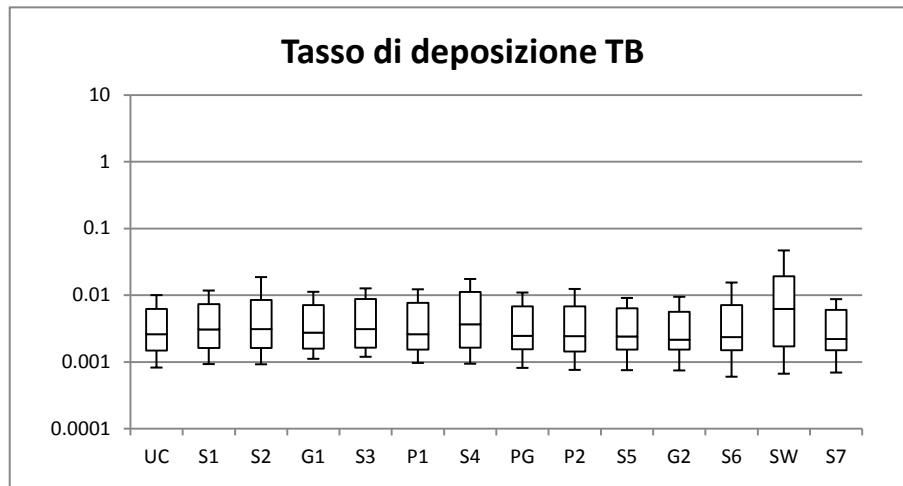


Figura 57 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina del 28 maggio

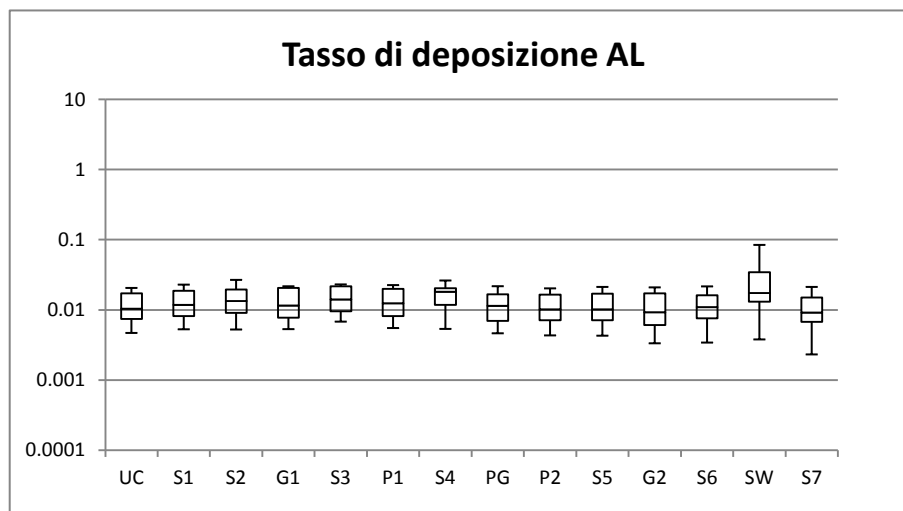


Figura 58 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL nella mattina del 28 maggio

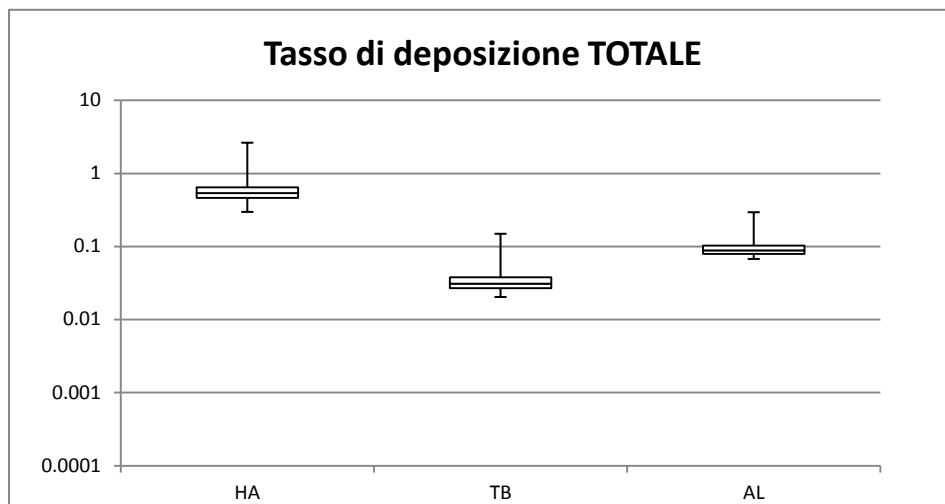


Figura 59 - Tasso di deposizione (µg/min) totale nella mattina del 28 maggio

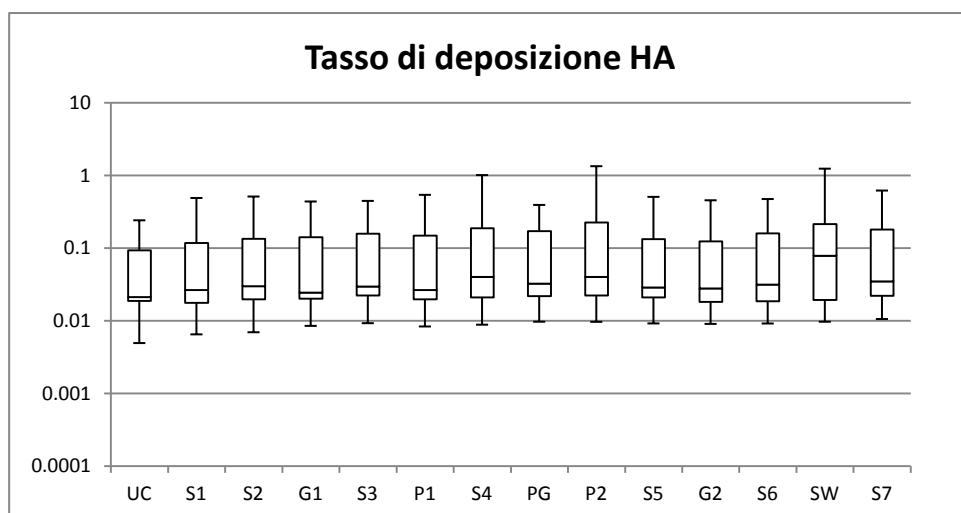


Figura 60 - Tasso di deposizione (µg/min) nel tratto HA nel pomeriggio del 28 maggio

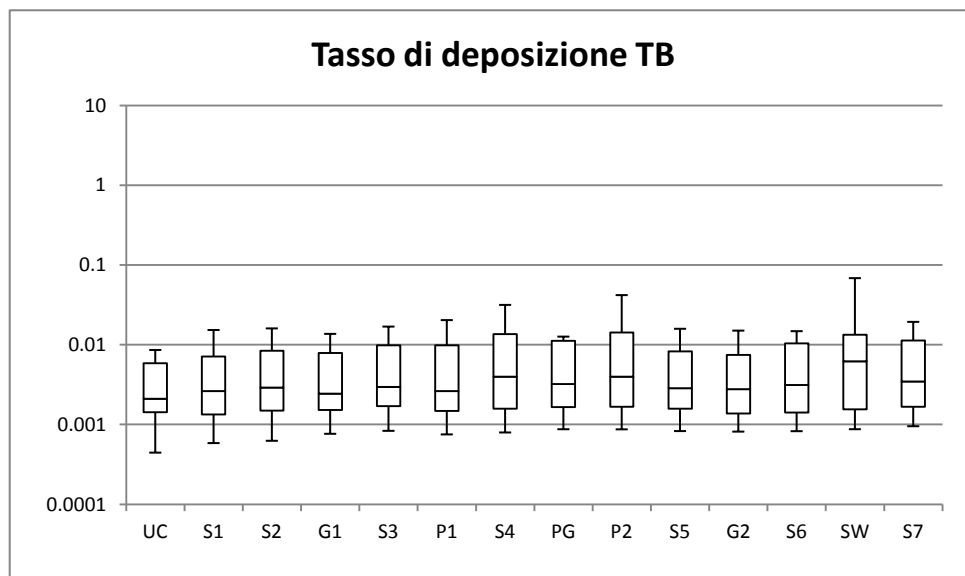


Figura 61 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nel pomeriggio del 28 maggio

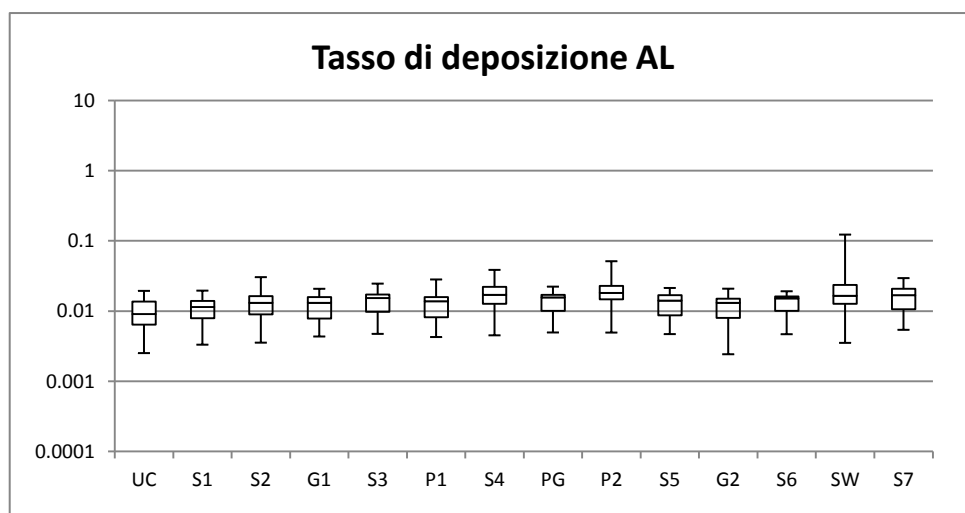


Figura 62 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL nel pomeriggio del 28 maggio

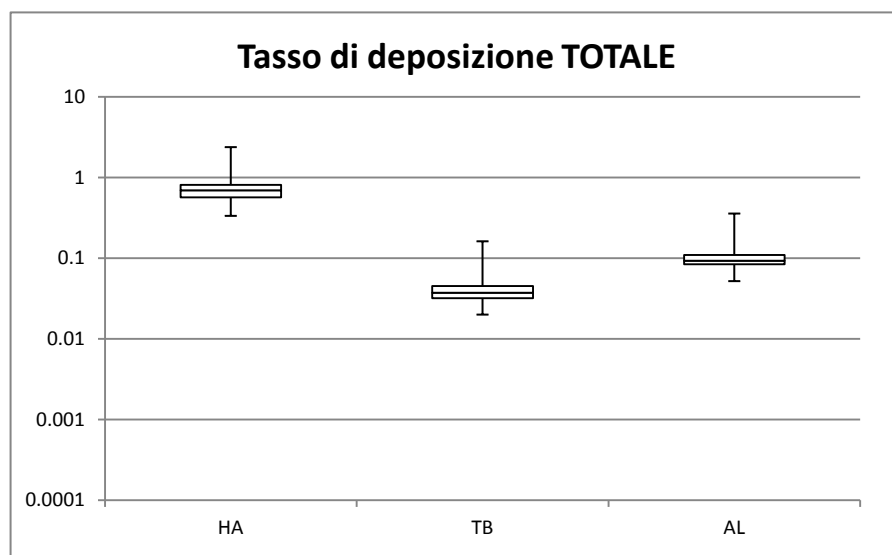


Figura 63 - Tasso di deposizione (µg/min) totale nel pomeriggio del 28 maggio

Le Figure dalle 64 alla 79 riportano invece il dettaglio dell'andamento del deposito durante il percorso con riferimento alle singole classi dimensionali, sempre distinguendo i tre livelli dell'apparato respiratorio.

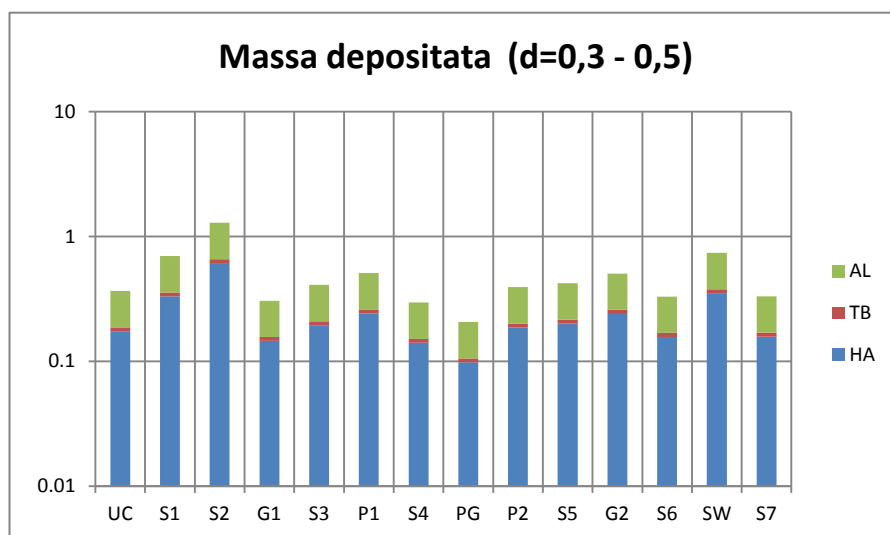


Figura 64 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,3 - 0,5 nella mattina del 28 maggio

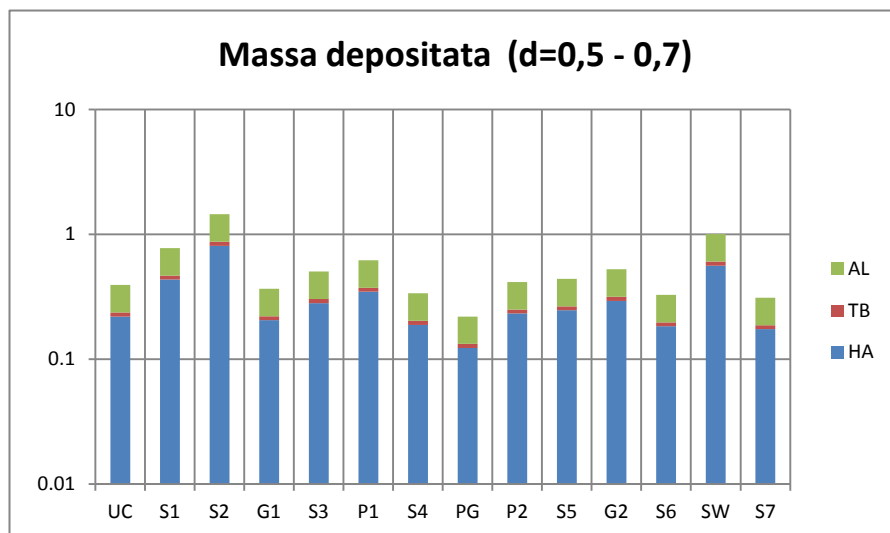


Figura 65 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 - 0,7 nella mattina del 28 maggio

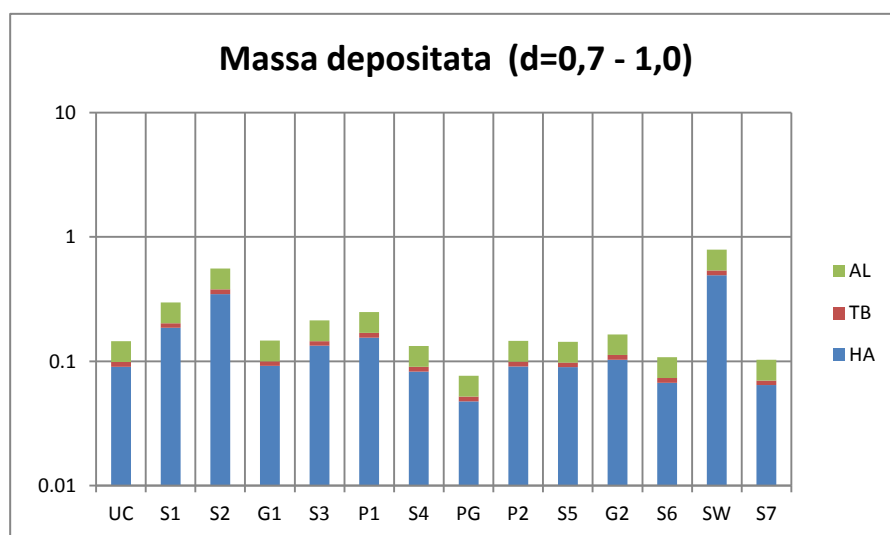


Figura 66 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella mattina del 28 maggio

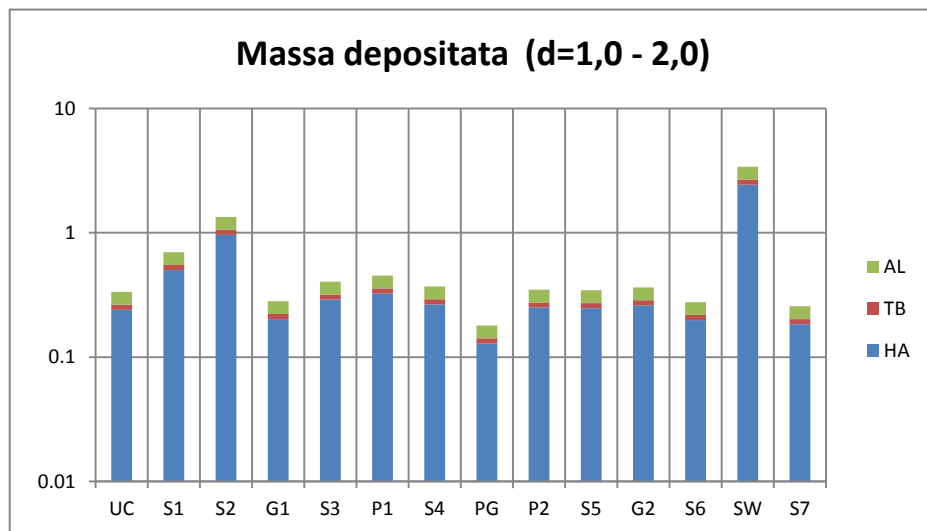


Figura 67 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella mattina del 28 maggio

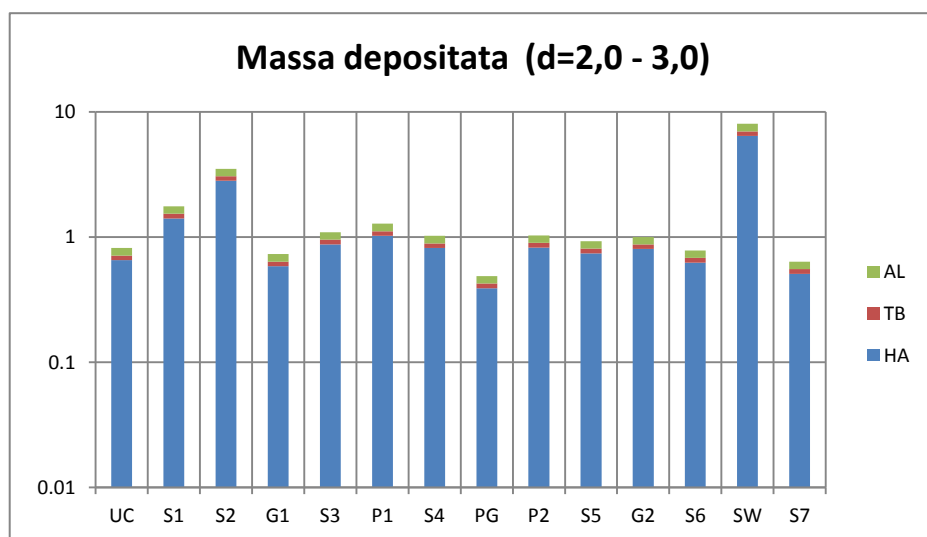


Figura 68 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nella mattina del 28 maggio

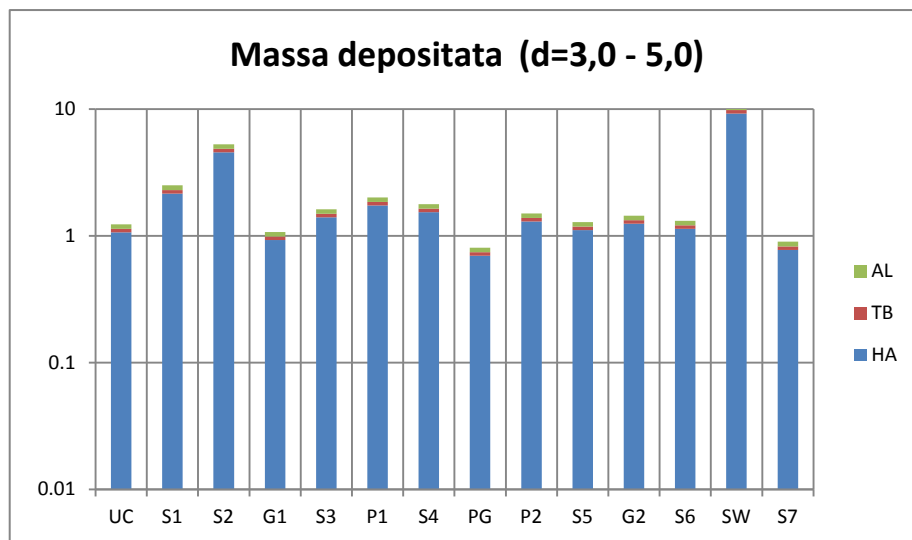


Figura 69 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nella mattina del 28 maggio

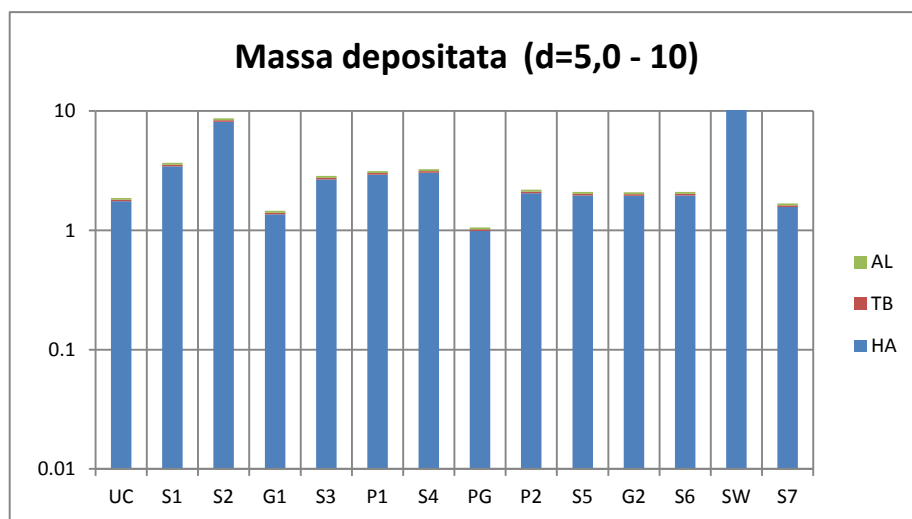


Figura 70 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 - 10 nella mattina del 28 maggio

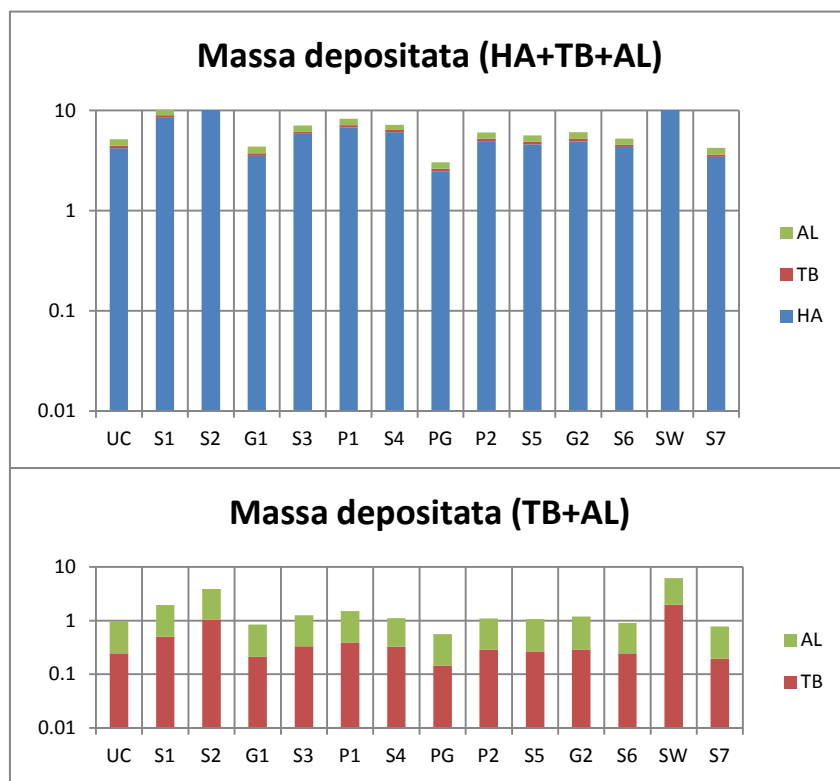


Figura 71 - Massa depositata (µg/viaggio) totale nella mattina del 28 maggio

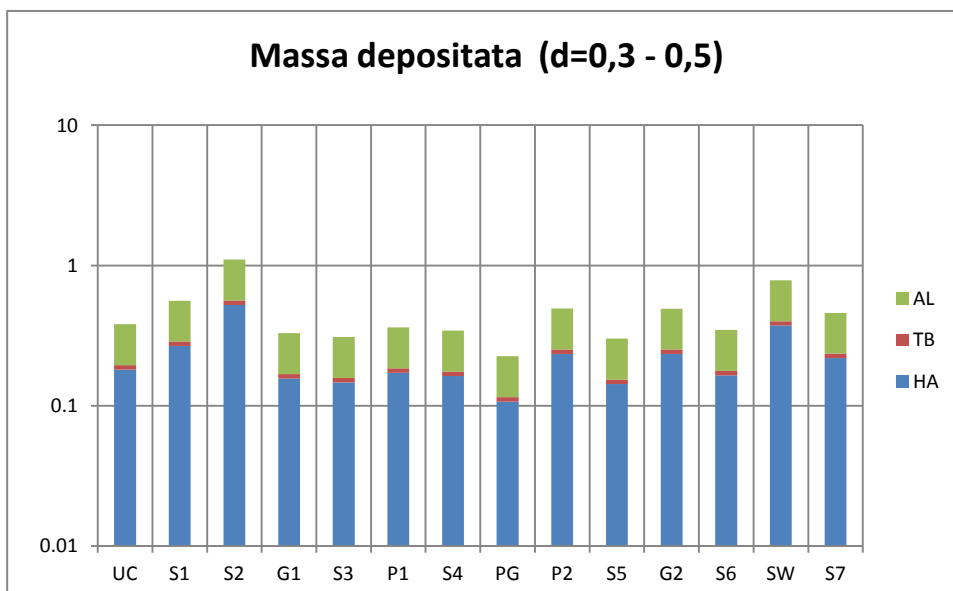


Figura 72 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,3 – 0,5 nel pomeriggio del 28 maggio

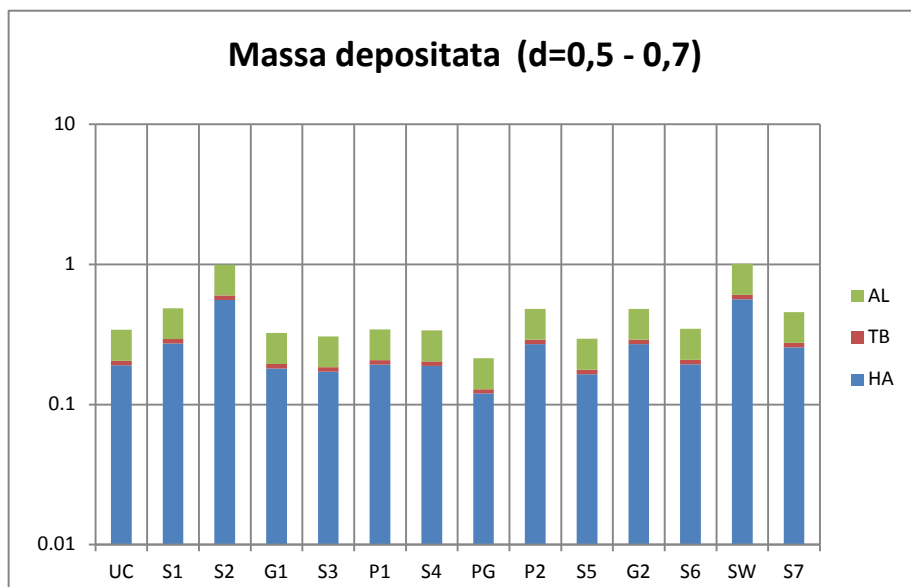


Figura 73 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,5 – 0.7 nel pomeriggio del 28 maggio

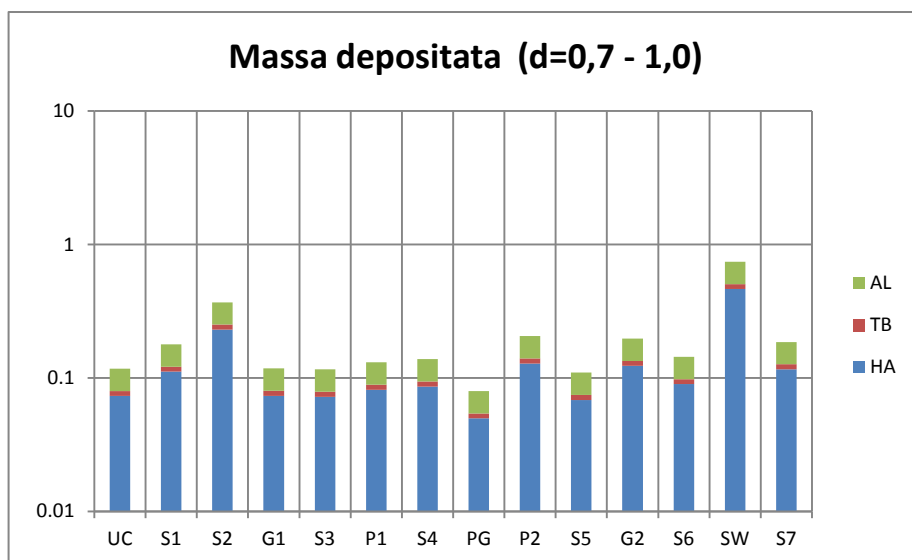


Figura 74 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,7 – 1,0 nel pomeriggio del 28 maggio

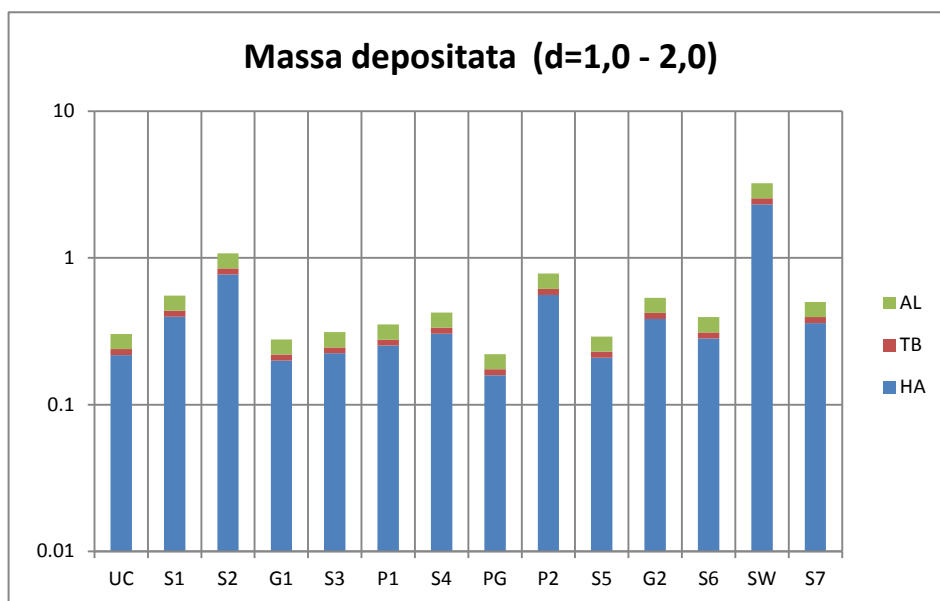


Figura 75 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 1,0 – 2,0 nel pomeriggio del 28 maggio

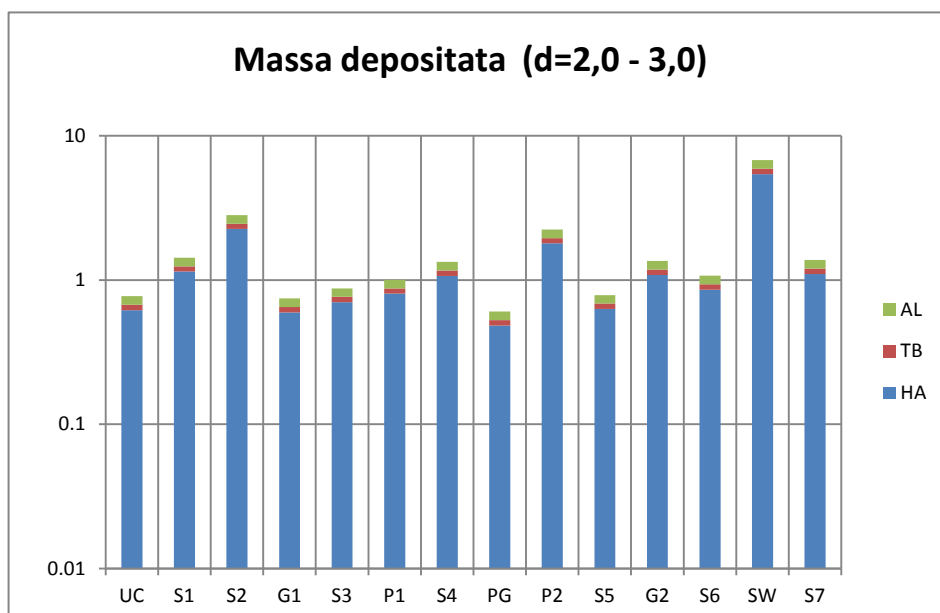


Figura 76 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nel pomeriggio del 28 maggio

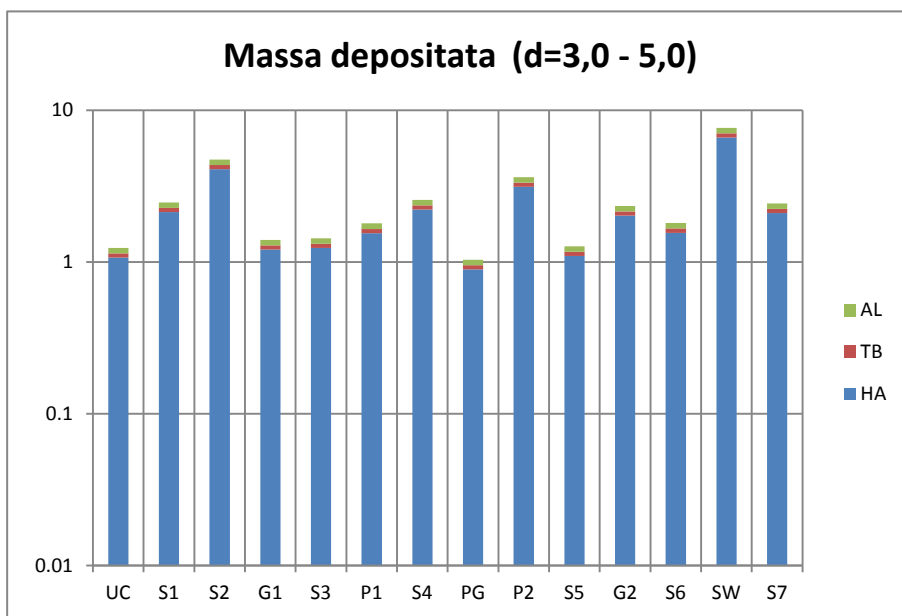


Figura 77 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nel pomeriggio del 28 maggio

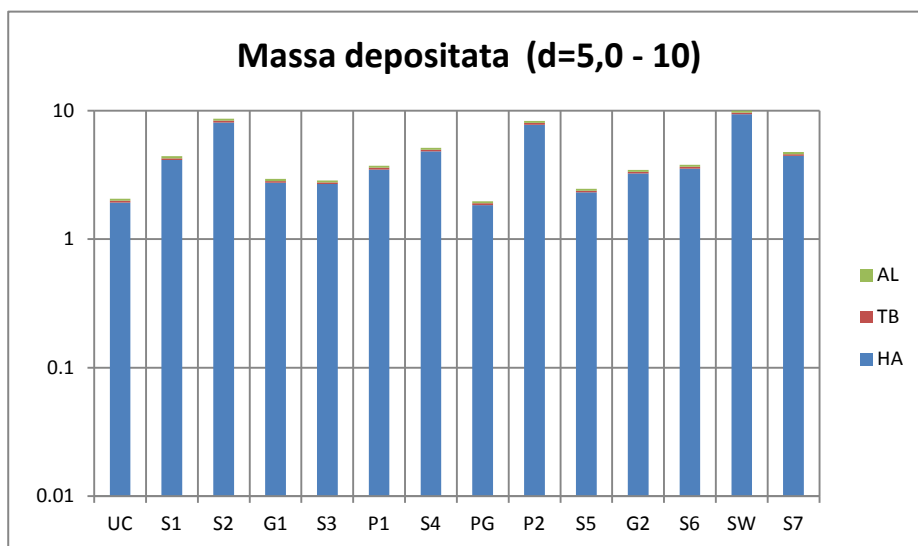


Figura 78 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 5,0 – 7,0 nel pomeriggio del 28 maggio

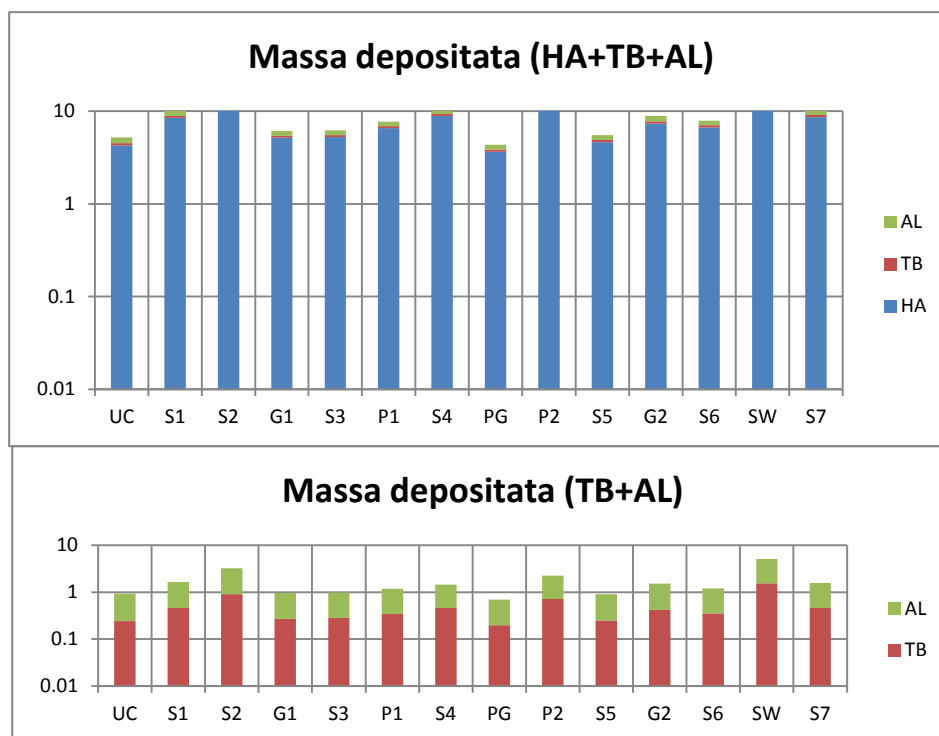


Figura 79 - Massa depositata (µg/viaggio) totale nel pomeriggio del 28 maggio

Complessivamente durante il percorso compiuto la massa di particolato depositata nell'apparato respiratorio è stimata pari a µg

Giorno	Deposito HA	Deposito TB	Deposito AL	Deposito totale
28 maggio mattina	111,60	6,46	16,80	134,80
28 maggio pomeriggio	125,05	6,91	16,71	148,67

Il deposito totale è determinato da quello nella regione HA nella misura del 83% in entrambi i casi.

I dati riportati nei grafici non evidenziano valutazioni degne di nota, quindi la massa di particelle depositate nei vari tratti dell'apparato respiratorio si equivale nei due diversi periodi della giornata nei quali si sono stati eseguiti i rilevamenti.

Anche in questo caso i dati raccolti sono affidabili in quanto non si rilevano dispersione di valori nel tasso di deposizione totale.

I risultati ottenuti dal confronto dei percorsi effettuati nella mattina e nel pomeriggio del 28 maggio, trova sostanziale conferma anche negli altri giorni in cui è disponibile il dato mattutino e pomeridiano.

In particolare, i grafici seguenti rappresentano la massa depositata totale di ciascun tratto respiratorio e dell'intero apparato polmonare. Si nota che tra la massa depositata al mattino e quella al pomeriggio non c'è una notevole differenza, però si è registrato che i valori minimi e massimi di massa depositata si hanno avuti al mattino.

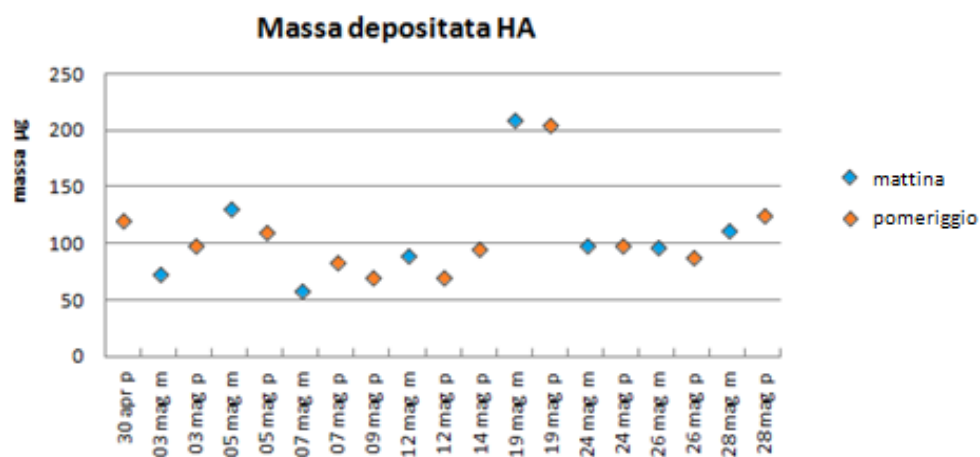


Figura 80 – Andamento della massa depositata (μg) nel tratto HA mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina

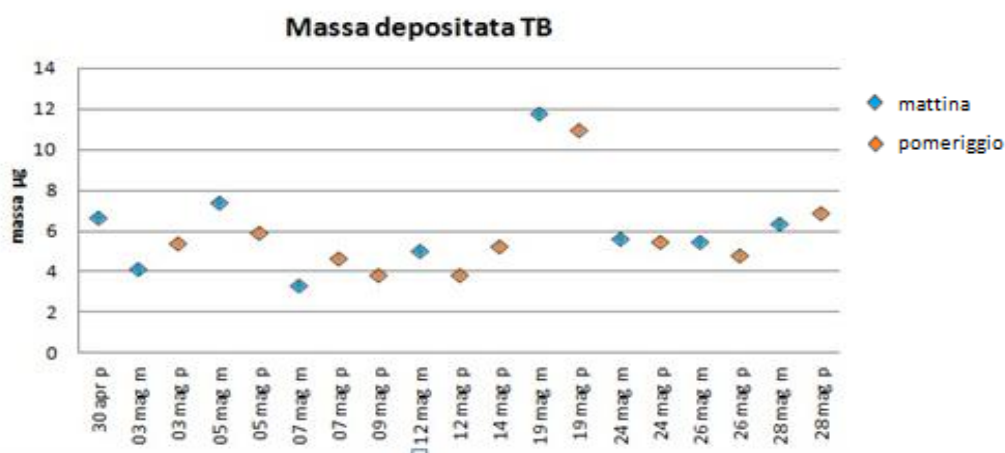


Figura 81 - Andamento della massa depositata (μg) nel tratto TB mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina

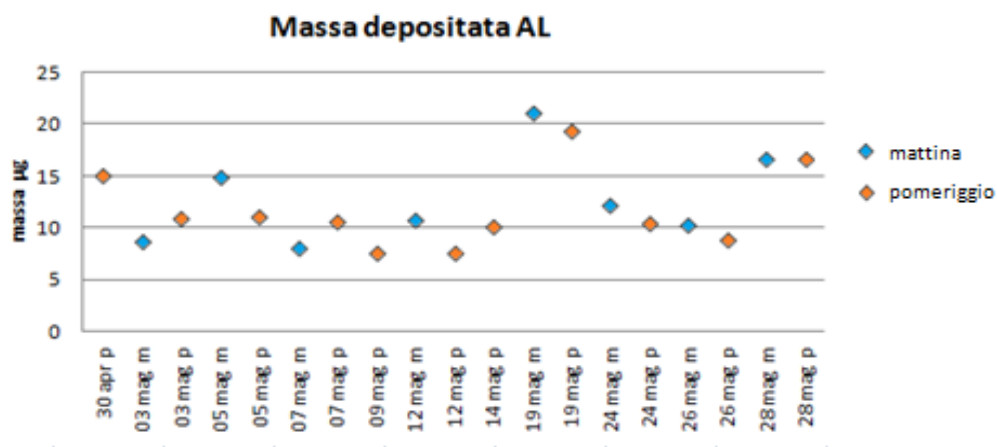


Figura 82 - Andamento della massa depositata (µg) nel tratto AL mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina

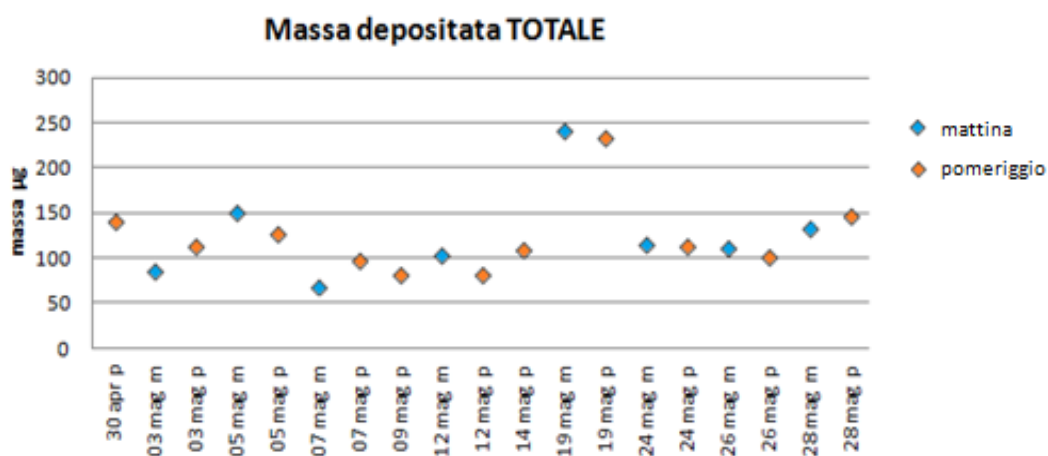


Figura 83 - Andamento della massa depositata (µg) totale mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina

3° caso – giornata festiva con blocco del traffico veicolare

Gli andamenti dei valori del tasso di deposizione nei tre livelli dell'apparato respiratorio (HA – Vie respiratorie superiori, TB Regione tracheo-bronchiale, AL – Regione alveolare) e del corrispondente deposito sono rappresentati nelle Figure XX.

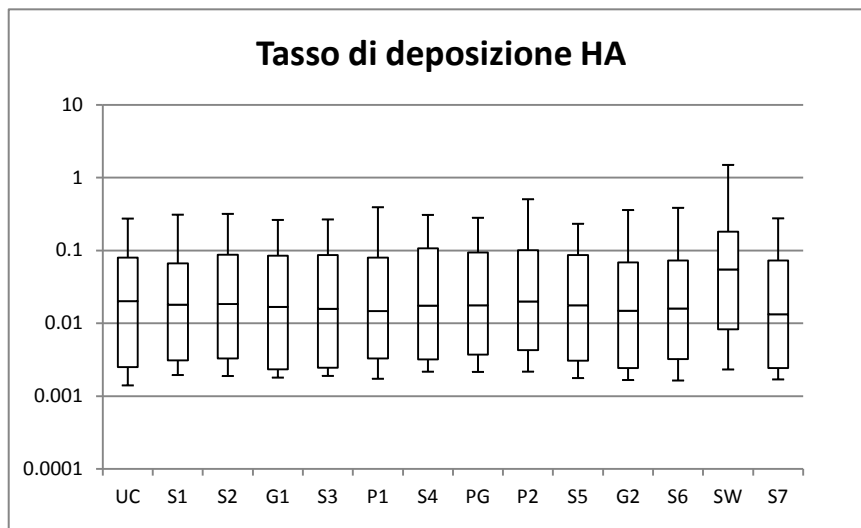


Figura 84 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella domenica pomeriggio del 09 maggio

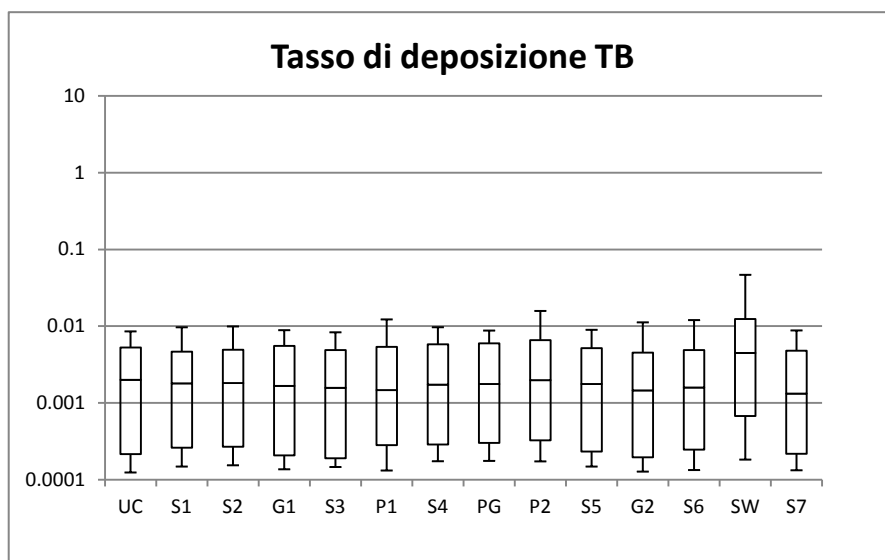


Figura 85 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella domenica pomeriggio del 09 maggio

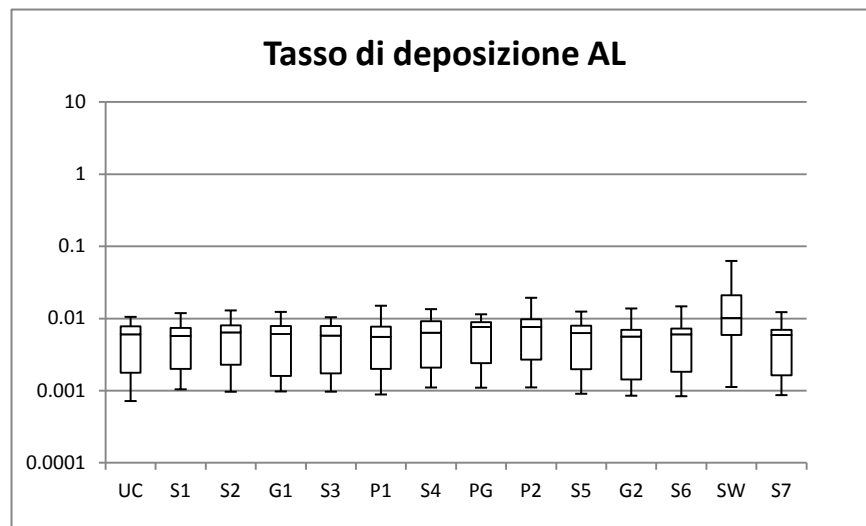


Figura 86 - Tasso di deposizione (µg/min) nel tratto AL nella domenica pomeriggio del 09 maggio

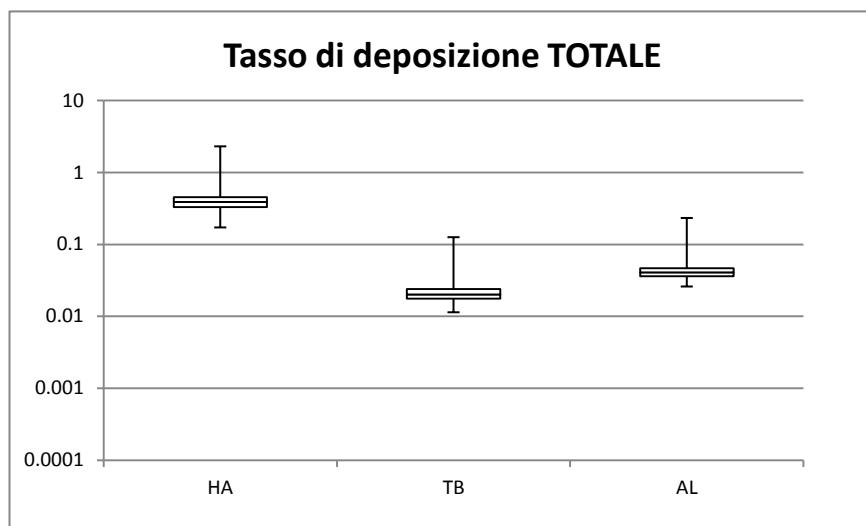


Figura 87 - Tasso di deposizione (µg/min) totale nella domenica pomeriggio del 09 maggio

Come si può notare dai box-plot il tasso di deposizione totale risulta più concentrata in quanto la distanza interquantile è molto piccola e presenta una linea orizzontale (mediana) a metà tra il 1° e il 3° quantile. Questa informazione è sinonimo di simmetria della distribuzione che, invece, non si riscontra nel caso dei singoli tratti.

Dalle figure 88 alla 95 riportano invece il dettaglio dell'andamento del deposito durante il percorso con riferimento alle singole classi dimensionali, sempre distinguendo i tre livelli dell'apparato respiratorio.

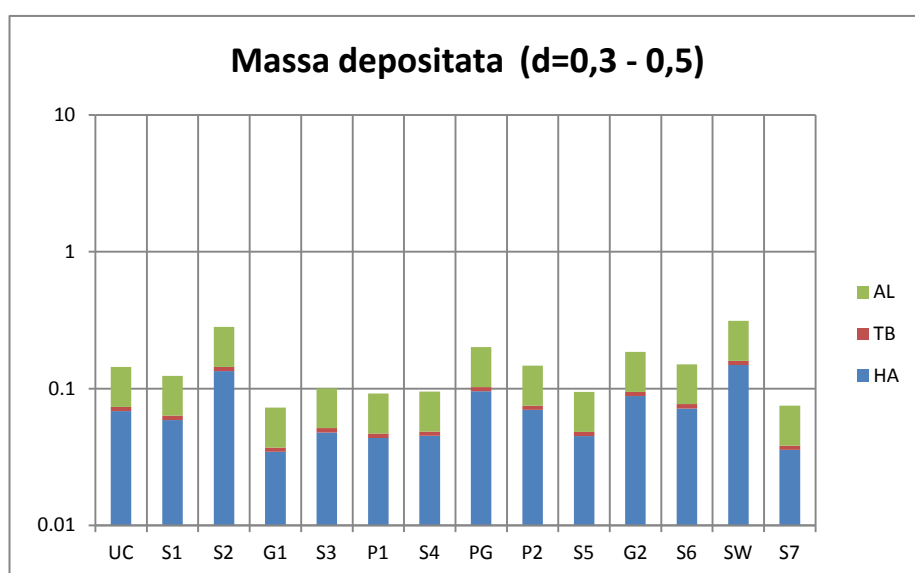


Figura 88 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,3 – 0,5 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

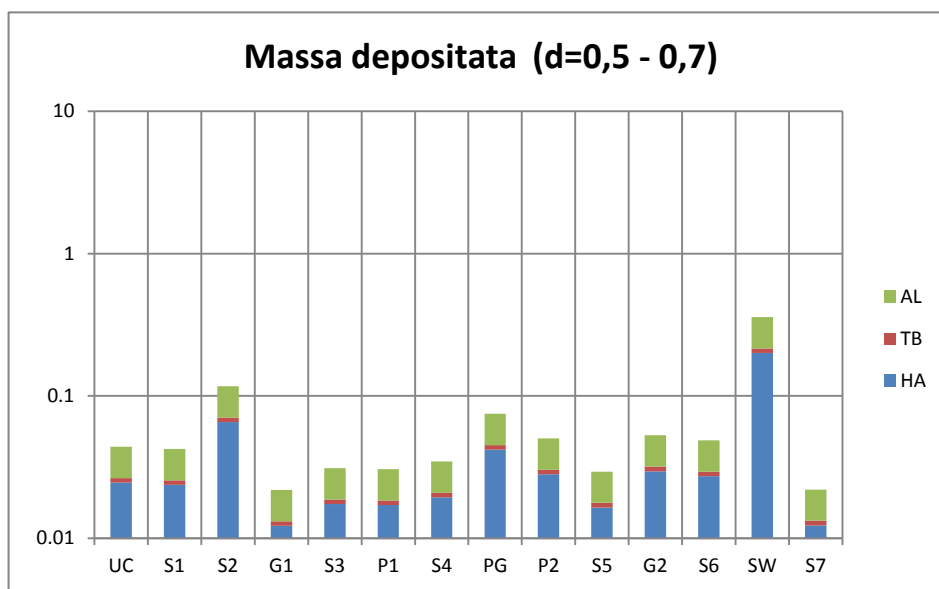


Figura 89 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,5 – 0,7 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

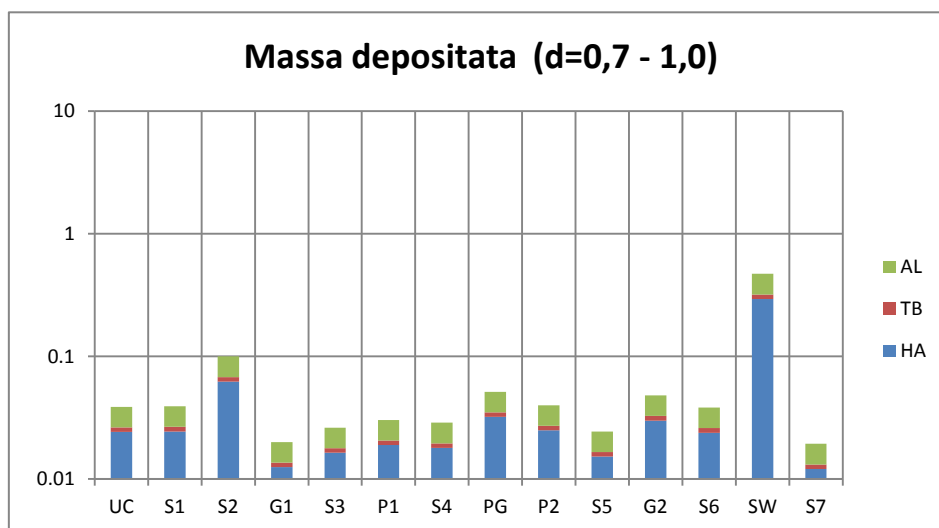


Figura 90 - Massa depositata (µg/viaggio) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

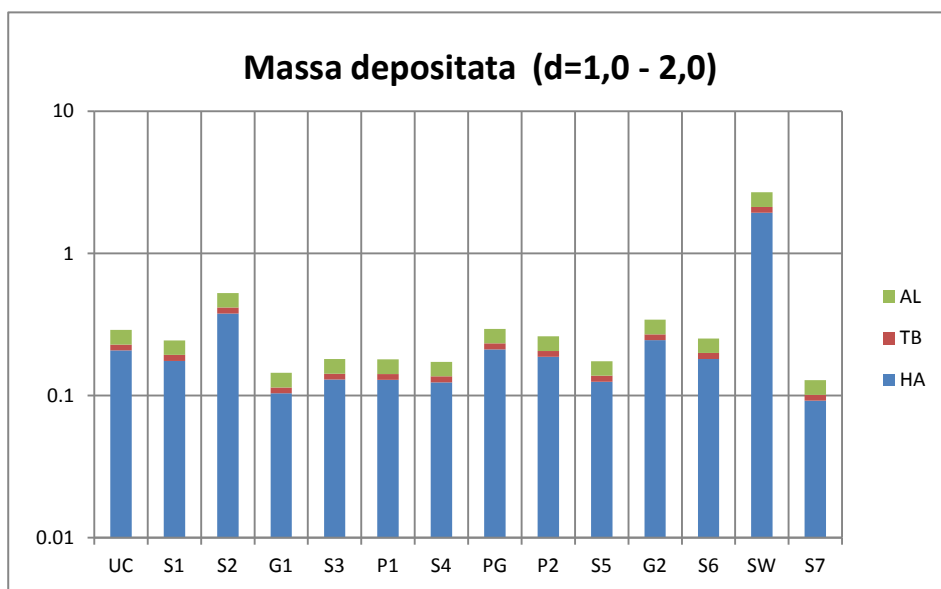


Figura 91 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

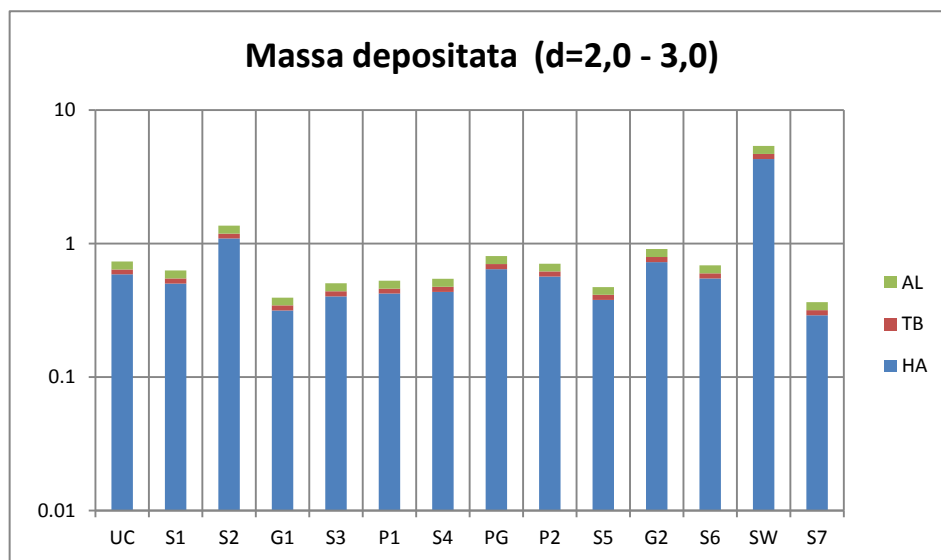


Figura 92 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

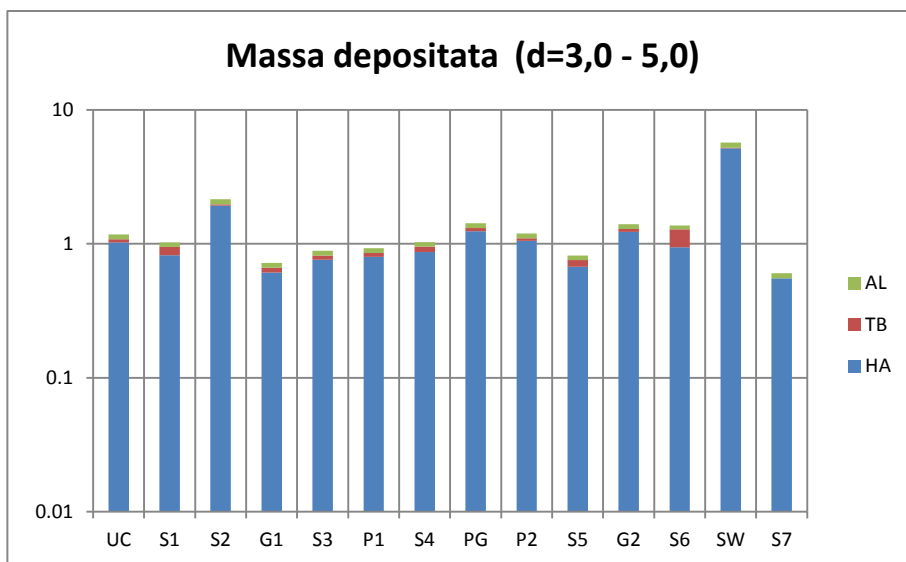


Figura 93 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

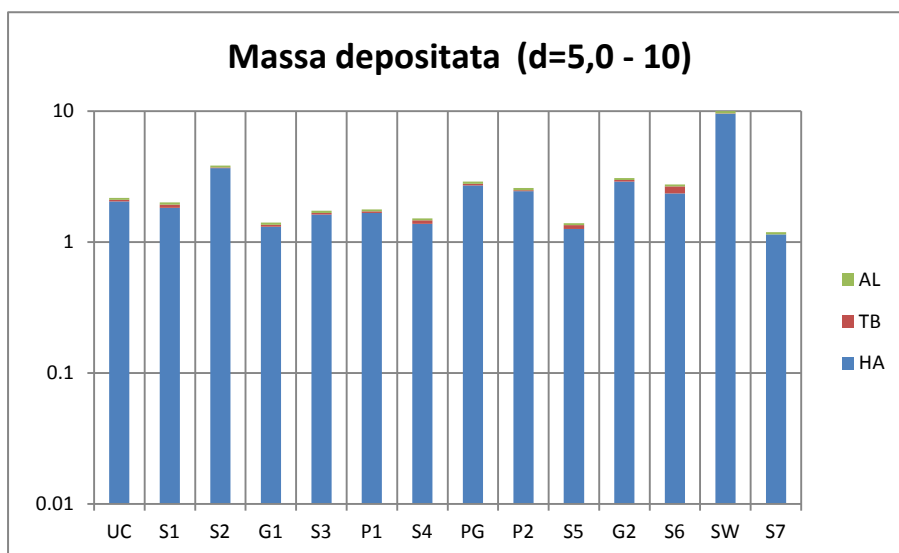


Figura 94 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 – 10 nella domenica pomeriggio del 09 maggio

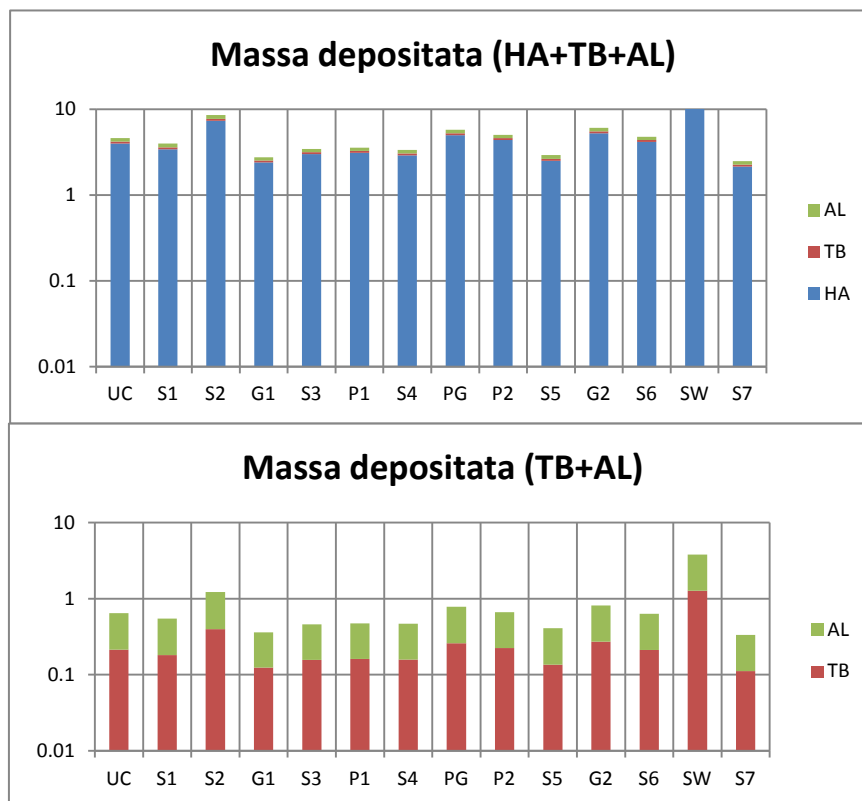


Figura 95 - Massa depositata (µg/viaggio) totale nella domenica pomeriggio del 09 maggio

Complessivamente durante il percorso compiuto la massa di particolato depositata nell'apparato respiratorio è stimata pari a µg

Giorno	Deposito HA	Deposito TB	Deposito AL	Deposito totale
09 maggio	70,91	3,87	7,73	82,50

Il deposito totale è determinato da quello nella regione HA nella misura del 86%.

L'esame comparato degli andamenti riportati nelle precedenti figure evidenzia i seguenti aspetti:

- a) Il divieto al traffico veicolare determina una minore quantità di particelle nel particolato quando queste hanno una dimensione inferiore a $1\text{ }\mu\text{m}$.
- b) Le particelle con dimensioni superiori a $1\text{ }\mu\text{m}$, hanno una massa depositata del particolato, equivalente ad una giornata di pioggia o soleggiata.

Si evince che, con il blocco del traffico, si hanno benefici con una minor massa depositata nell'apparato respiratorio di particelle con dimensioni inferiori ad $1\text{ }\mu\text{m}$, le più dannose per la nostra salute. Complessivamente, se consideriamo tutti gli aspetti dimensionali delle particelle, si hanno benefici alla minor massa di deposito, come nel caso di una giornata di pioggia.

3.2.1 – Variabilità spaziale del tasso di deposizione e del deposito

Dopo aver elaborato i dati rilevati in un periodo di 19 giorni nel mese di maggio, nelle diverse postazioni del tratto da Piazza Duomo al Politecnico di Milano, sono stati ricavati dei grafici al fine di determinare la massa depositata nei vari settori del percorso.

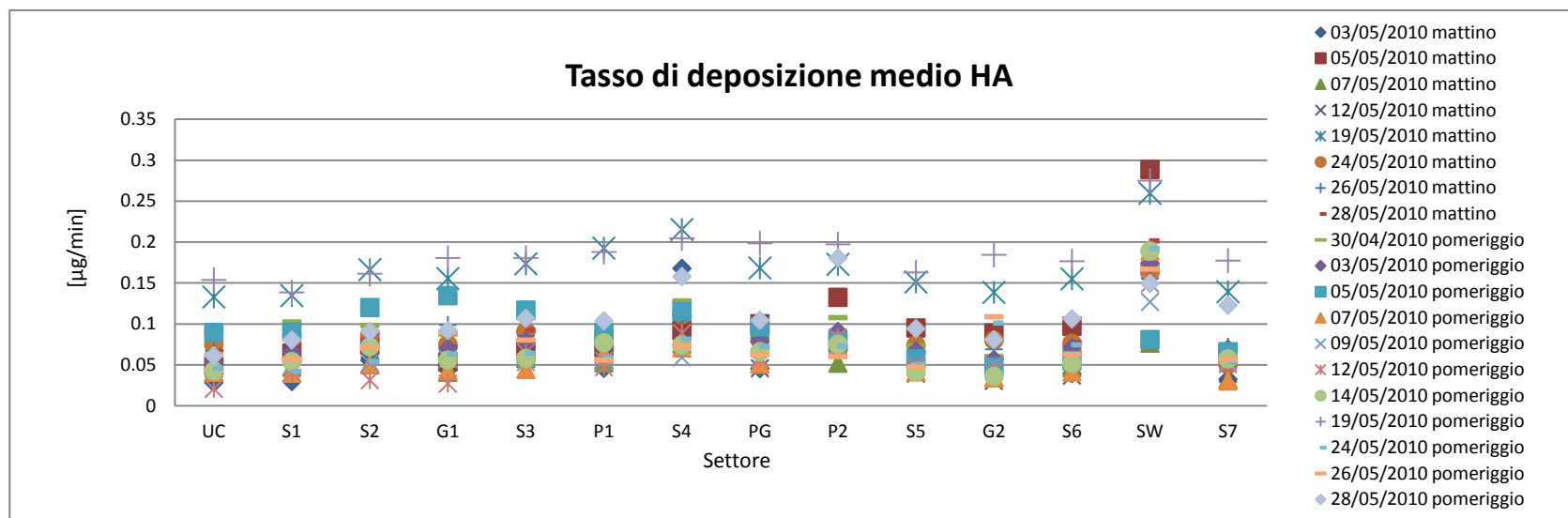


Figura 96 – Tasso di deposizione medio (µg/min) nel tratto HA

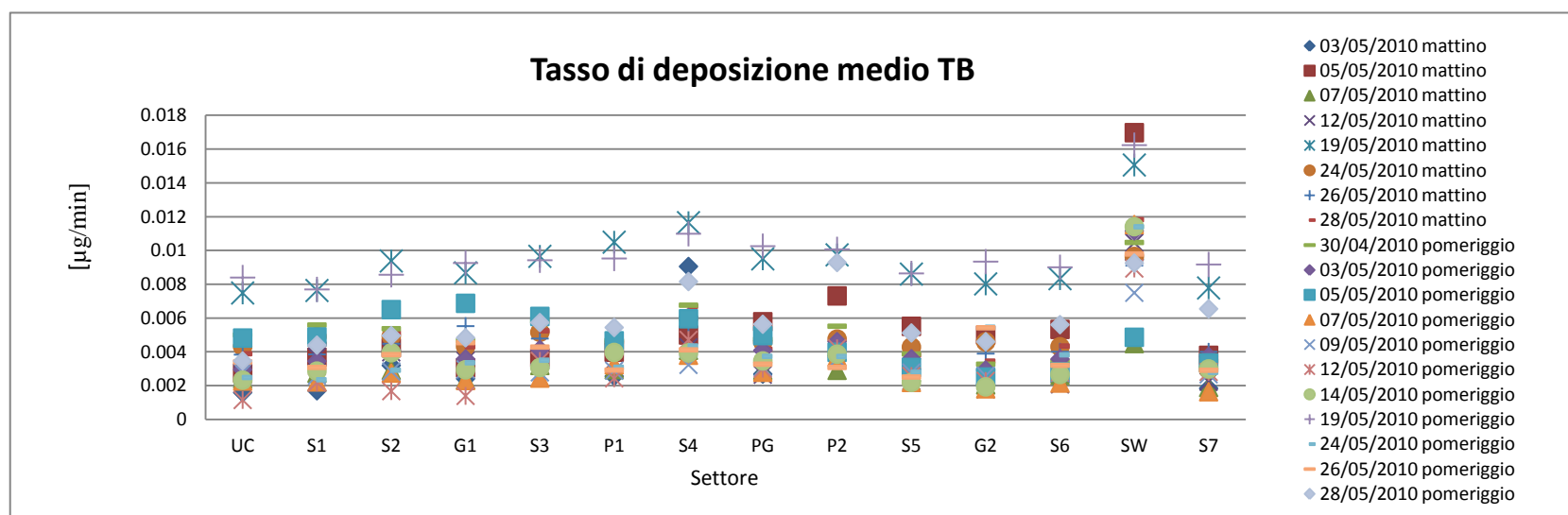


Figura 97 – Tasso di deposizione medio (µg/min) nel tratto TB

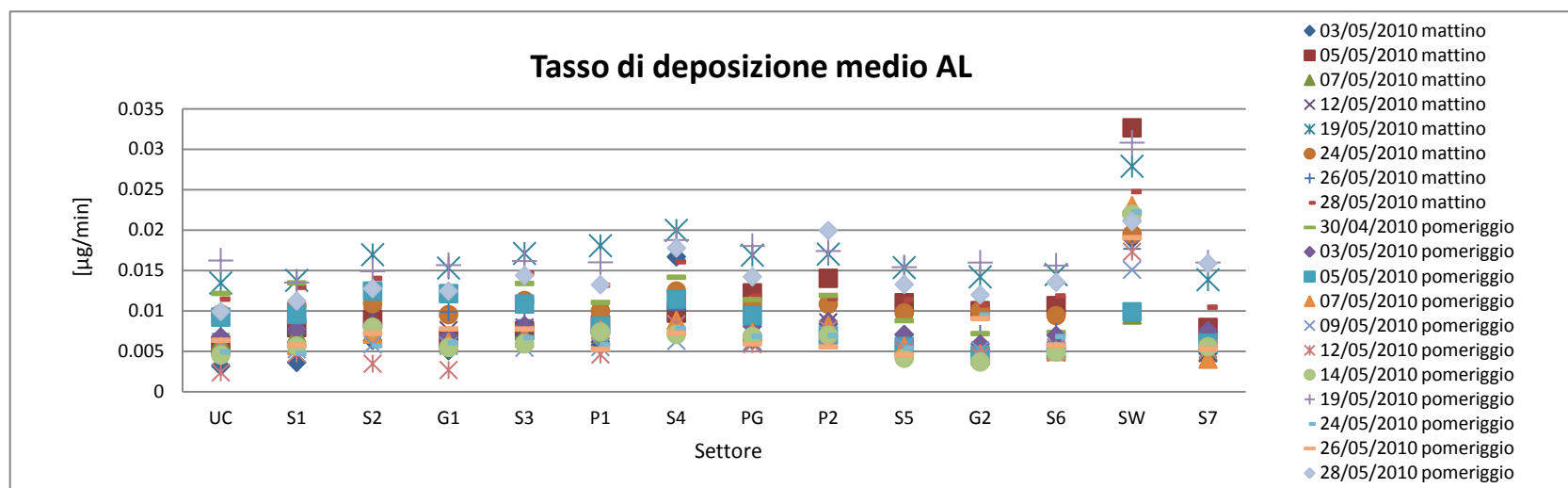


Figura 98 - Tasso di deposizione medio ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL

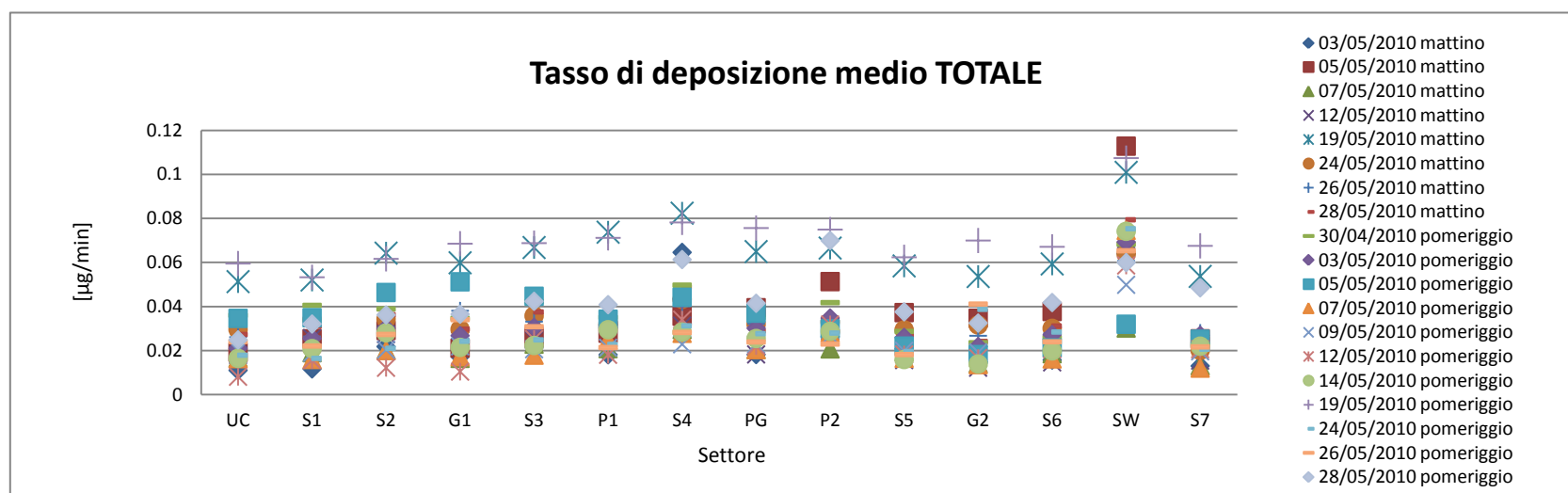


Figura 99 - Tasso di deposizione medio ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale

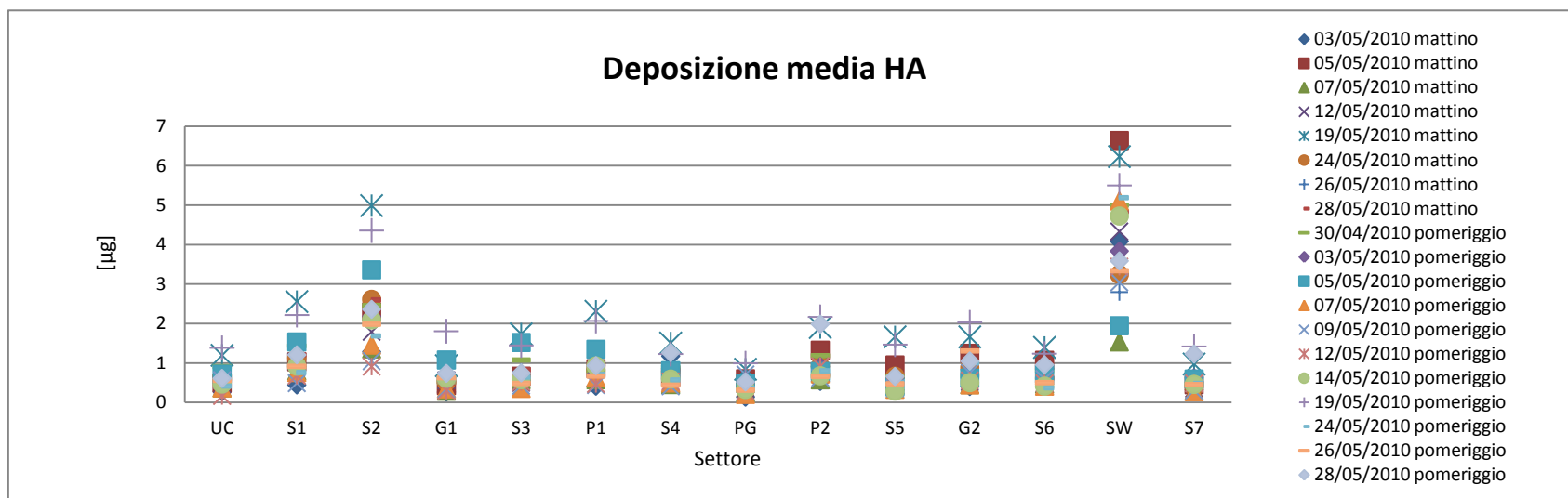


Figura 100 - Deposizione media (µg) nel tratto HA

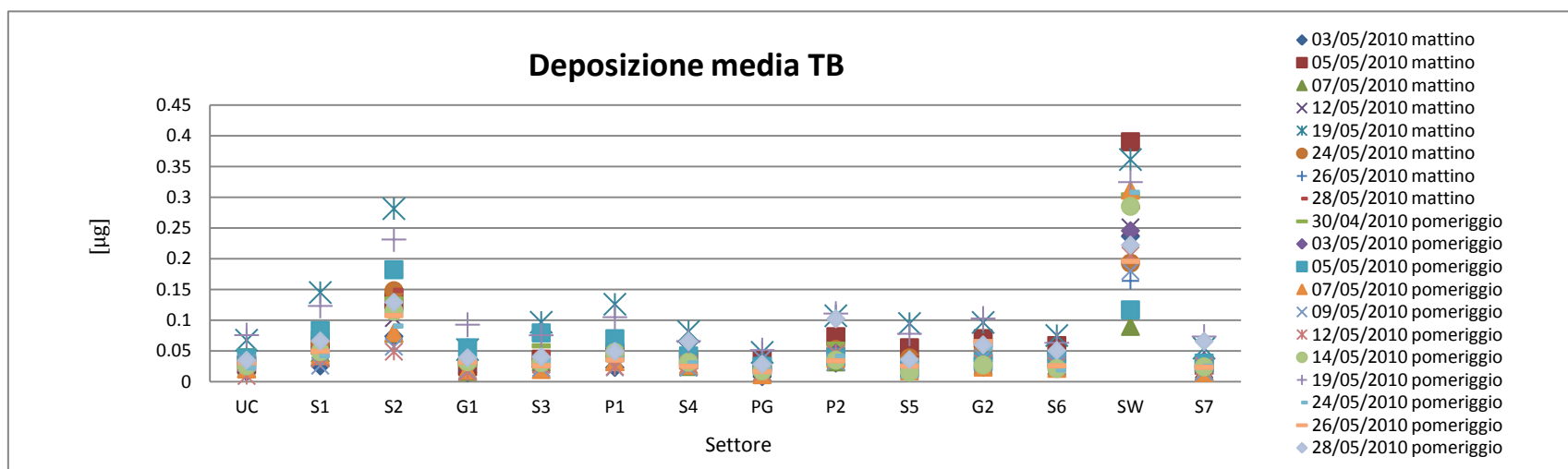


Figura 101 - Deposizione media (µg) nel tratto TB

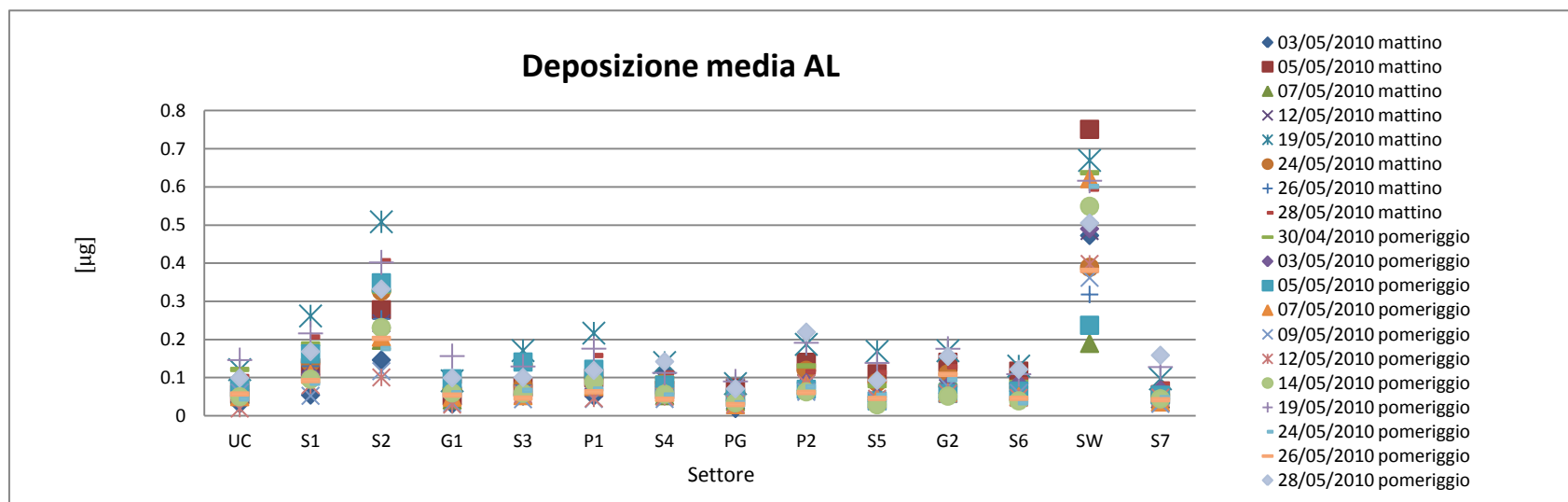


Figura 102 - Deposizione media (µg) nel tratto AL

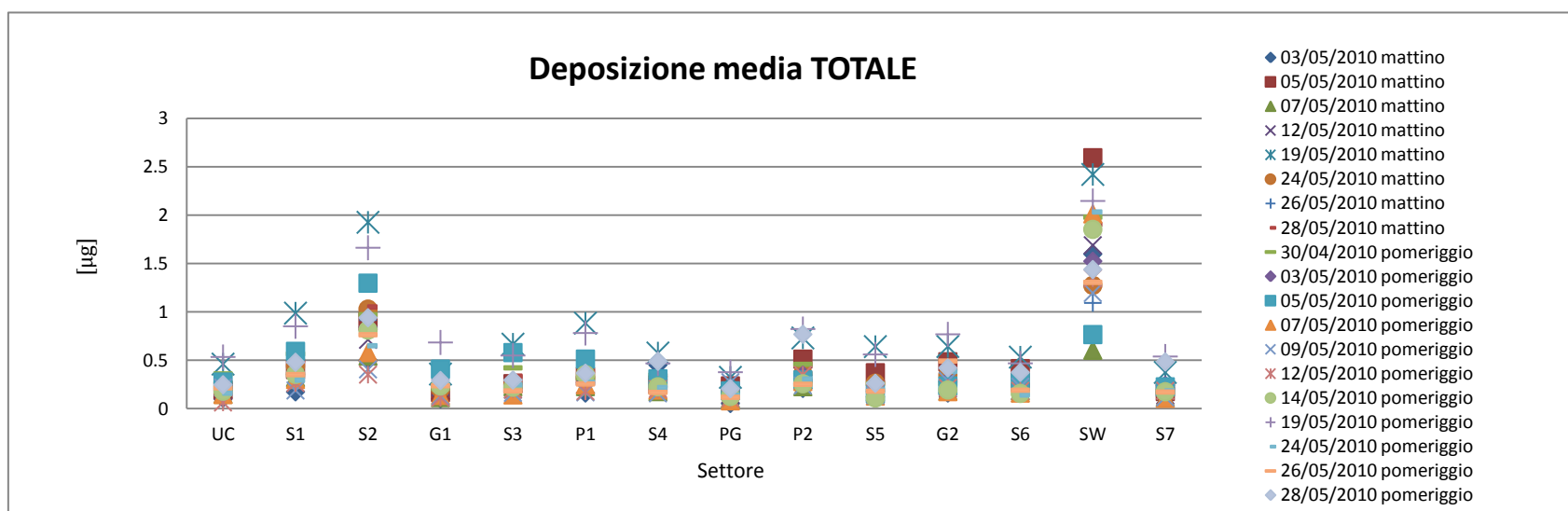


Figura 103 - Deposizione media (µg) totale

Ad una prima analisi si rileva che nella giornata del 19 maggio i valori del tasso di deposizione e quindi della massa depositata sono notevolmente elevati rispetto agli altri giorni; probabilmente, dovuto alle particolari condizioni atmosferiche o di altri fattori legati al traffico veicolare.

Nei tre grafici elaborati dai dati rilevati e riferiti ai tre tronchi dell'apparato respiratorio (HA, TB, AL) e al grafico riferito all'intero tratto polmonare, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- la deposizione giornaliera ha valori variabili in media da 0.01 a 0.03 $\mu\text{g}/\text{min}$ in tutti i tratti dell'apparato respiratorio.
- si riscontrano rilevanti depositi di massa in relazione alle postazione di rilevamento.
- è di facile deduzione osservare che si ha una massa di deposizione maggiore in un ambiente chiuso (stazione metropolitana) anziché in una strada a traffico veicolare o in un parco.

CONCLUSIONI

L'elaborazione con il modello ICRP dei dati di concentrazione di materiale particolato rilevati nei diversi tratti di un percorso pedonale effettuato nel centro di Milano nel mese di maggio del 2010, ha permesso di determinare i valori del deposito totale e la sua distribuzione nelle diverse regioni dell'apparato polmonare. Le formulazioni del modello ICRP, infatti, consentono di stimare il deposito in 3 regioni corrispondenti al tratto extratoracico (HA), al tratto tracheobronchiale (TB), e al tratto alveolare (AL).

Le elaborazioni sviluppate hanno utilizzato i dati di particolato misurati con un contatore ottico portatile nell'intervallo dimensionale compreso tra 0,3 e 10 μm durante percorsi effettuati tanto nella tarda mattinata quanto nel primo pomeriggio.

I risultati ottenuti indicano valori complessivi di deposito durante il percorso effettuato, che ha una durata temporale di circa 3 ore, dell'ordine di 153 μg in una giornata soleggiata poco ventilata. Detto valore diminuisce del 13% in una giornata soleggiata e ventilata, in una giornata di pioggia detto valore diminuisce ulteriormente del 57% mentre per effetto di mancanza del traffico veicolare (in una domenica con il blocco del traffico) questo valore diminuisce del 40%.

Nelle giornate soleggiate e poco ventilate i dati rilevati al mattino ed al pomeriggio differiscono di circa del 4-6%; mentre in una giornata di pioggia battente i dati rilevati nel pomeriggio aumentano di circa il 32% per effetto dell'aumento di temperatura.

Da ciò si deduce che in assenza di traffico veicolare l'inquinamento atmosferico, e quindi il quantitativo di particelle del particolato aerosospeso, si dimezza rispetto ad una giornata soleggiata con poco vento e intenso traffico veicolare. Quindi possiamo affermare che l'inquinamento per effetto della combustione veicolare è la causa principale dell'inquinamento atmosferico ed in particolare delle polveri sottili PM_{2.5} e PM₁₀ che sono le più dannose per il nostro sistema respiratorio.

La struttura del nostro apparato respiratorio permette di catturare, attraverso le mucose del naso e della bocca, un quantitativo di particelle grossolane; nonostante il filtro naturale, nel primo tratto (HA) si deposita circa 5 μg , detto deposito diminuisce notevolmente dell'ordine di 0,3-0,5 μg nel tratto TB e AL.

Conclusioni

La composizione di questi depositi è formata per la maggior parte da polveri sottili PM2.5 e PM10 che, come detto precedentemente, sono i più dannosi alla salute dell'uomo e sono la causa delle malattie dell'apparato respiratorio e cardiocircolatorio.

L'analisi della variabilità spaziale dei tassi di deposizione evidenzia valori più elevati in corrispondenza dei tratti del percorso effettuati in strade con traffico veicolare (+160%), o nel tragitto in metropolitana (+360%) rispetto ai dati rilevati in un parco.

I valori del tasso di deposizione rilevati non subiscono rilevanti variazioni nell'arco della giornata.

In contrapposizione si hanno grosse variazioni se la giornata è soleggiata, soleggiata e ventilata e piovosa; maggiormente questi valori hanno una differenza sostanziale nelle varie postazioni: in una stazione metropolitana (maggiore tasso deposizione), su di una strada con traffico veicolare o in un parco (minor tasso di deposizione). Inoltre il tasso di deposizione è strettamente relazionato alla durata temporale di permanenza.

Il valore della massa depositata non è direttamente proporzionale al numero e alle dimensioni delle particelle inalate. Infatti nel primo tratto il numero di particelle grossolane depositate sono notevolmente superiori rispetto a quelle che si depositano nella zona TB e AL; mentre le particelle di piccole dimensioni si depositano nella parte intermedia (TB) e inferiore (AL) dell'apparato respiratorio.

Il valore della massa depositata non è strettamente relazionata al numero delle particelle depositate per effetto delle loro dimensioni.

“Le persone delle generazioni future hanno diritto a una Terra indenne e non contaminata, includendo il diritto a un cielo puro”.(UNESCO)

ALLEGATI

Allegato I

Statistiche principali dei tassi di deposizione [$\mu\text{g}/\text{min}$] nella zona extratoracica (HA), tracheobronchiale (TB), alveolare (AL) e nell'intero tratto respiratorio.

Allegati

	HA	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03/05 matt	N° DATI	10	15	23	6	8	9	7	3	8	6	11	12	25	10
	MEDIA	0.0283	0.0297	0.0559	0.0441	0.0552	0.0460	0.1680	0.0455	0.0668	0.0524	0.0369	0.0395	0.1635	0.0324
	MAX	0.2287	0.1434	0.3981	0.1989	0.2645	0.1784	0.9401	0.1557	0.3530	0.2092	0.1792	0.1920	1.4194	0.1646
	MIN	0.0013	0.0016	0.0020	0.0027	0.0031	0.0025	0.0031	0.0031	0.0033	0.0028	0.0024	0.0021	0.0019	0.0019
	DEV. ST.	0.0386	0.0339	0.0702	0.0535	0.0663	0.0527	0.2401	0.0481	0.0787	0.0585	0.0415	0.0446	0.2404	0.0366
05/05 matt	N° DATI	10	16	31	8	10	12	7	6	10	10	14	11	23	7
	MEDIA	0.0491	0.0644	0.0742	0.0537	0.0666	0.0714	0.0920	0.1003	0.1326	0.0952	0.0890	0.0972	0.2888	0.0643
	MAX	0.1943	0.2536	0.3813	0.2042	0.3096	0.2956	0.4784	0.3859	0.7208	0.3472	0.4415	0.3983	1.6016	0.2944
	MIN	0.0029	0.0038	0.0043	0.0036	0.0038	0.0039	0.0040	0.0052	0.0050	0.0050	0.0046	0.0047	0.0055	0.0050
	DEV. ST.	0.0559	0.0714	0.0867	0.0597	0.0796	0.0832	0.1159	0.1118	0.1644	0.1038	0.1048	0.1160	0.3642	0.0757
07/05 matt	N° DATI	9	17	27	7	10	11	6	5	11	9	13	10	20	9
	MEDIA	0.0412	0.0471	0.0503	0.0411	0.0579	0.0525	0.0759	0.0510	0.0522	0.0488	0.0349	0.0467	0.0767	0.0326
	MAX	0.1548	0.2300	0.2907	0.1646	0.3047	0.2511	0.4267	0.1876	0.2161	0.2073	0.1693	0.2329	0.7919	0.1353
	MIN	0.0037	0.0039	0.0032	0.0032	0.0037	0.0029	0.0030	0.0037	0.0038	0.0036	0.0030	0.0030	0.0037	0.0023
	DEV. ST.	0.0423	0.0492	0.0550	0.0441	0.0700	0.0596	0.0979	0.0550	0.0594	0.0537	0.0369	0.0553	0.1147	0.0341
12/05 matt	N° DATI	10	16	26	9	8	10	8	8	10	11	17	11	24	9
	MEDIA	0.0457	0.0647	0.0689	0.0626	0.0626	0.0624	0.0813	0.0460	0.0741	0.0394	0.0306	0.0370	0.1806	0.0393
	MAX	0.1764	0.2965	0.3369	0.2439	0.2402	0.2700	0.4858	0.2119	0.4294	0.1590	0.1518	0.1904	0.9836	0.1584
	MIN	0.0040	0.0053	0.0055	0.0050	0.0049	0.0036	0.0042	0.0037	0.0045	0.0030	0.0028	0.0026	0.0026	0.0021
	DEV. ST.	0.0500	0.0704	0.0763	0.0724	0.0705	0.0732	0.1087	0.0509	0.0916	0.0428	0.0332	0.0429	0.2348	0.0452
19/05 matt	N° DATI	9	19	30	6	10	12	7	5	11	11	12	9	24	7
	MEDIA	0.1330	0.1347	0.1664	0.1556	0.1736	0.1927	0.2155	0.1684	0.1729	0.1513	0.1386	0.1551	0.2597	0.1394

Allegati

	MAX	0.5528	0.5388	0.8938	0.6909	0.8255	0.8156	0.9882	0.6702	0.7781	0.6028	0.6760	0.8049	1.9563	0.5803
	MIN	0.0020	0.0024	0.0026	0.0024	0.0026	0.0026	0.0032	0.0028	0.0026	0.0023	0.0020	0.0021	0.0029	0.0022
	DEV. ST.	0.1568	0.1552	0.1994	0.1865	0.2085	0.2368	0.2744	0.1974	0.2041	0.1736	0.1632	0.2024	0.3516	0.1694
24/05 matt	N° DATI	9	13	30	7	7	10	7	4	11	9	11	8	20	8
	MEDIA	0.0748	0.0866	0.0872	0.0750	0.0909	0.0816	0.1113	0.0806	0.0834	0.0742	0.0802	0.0765	0.1622	0.0504
	MAX	0.2748	0.3838	0.4763	0.2698	0.4385	0.3156	0.5322	0.3296	0.3914	0.3011	0.4273	0.3097	0.8773	0.2143
	MIN	0.0044	0.0063	0.0060	0.0064	0.0070	0.0072	0.0090	0.0088	0.0090	0.0069	0.0062	0.0060	0.0060	0.0042
	DEV. ST.	0.0802	0.0975	0.1013	0.0809	0.1059	0.0926	0.1388	0.0911	0.0947	0.0807	0.0958	0.0877	0.2010	0.0551
26/05 matt	N° DATI	8	18	30	7	9	12	7	5	11	9	12	9	18	8
	MEDIA	0.0672	0.0681	0.0787	0.0989	0.0857	0.0782	0.1046	0.0832	0.0775	0.0587	0.0691	0.0722	0.1555	0.0726
	MAX	0.3388	0.2823	0.4375	0.4680	0.4186	0.3446	0.4453	0.3080	0.3858	0.2135	0.3891	0.3968	1.3535	0.3795
	MIN	0.0016	0.0016	0.0019	0.0017	0.0020	0.0018	0.0021	0.0025	0.0018	0.0015	0.0015	0.0016	0.0046	0.0018
	DEV. ST.	0.0798	0.0786	0.0918	0.1209	0.1044	0.0945	0.1314	0.0995	0.0894	0.0657	0.0865	0.0900	0.2147	0.0908
28/05 matt	N° DATI	9	16	29	7	9	12	7	5	10	10	12	8	24	8
	MEDIA	0.0666	0.0756	0.0897	0.0718	0.0927	0.0805	0.1240	0.0707	0.0704	0.0656	0.0582	0.0772	0.2015	0.0614
	MAX	0.2455	0.2775	0.4509	0.2602	0.4015	0.3242	0.5561	0.2964	0.2608	0.2761	0.2209	0.3920	1.2676	0.2679
	MIN	0.0092	0.0103	0.0103	0.0124	0.0133	0.0108	0.0105	0.0091	0.0085	0.0084	0.0083	0.0067	0.0074	0.0077
	DEV. ST.	0.0652	0.0723	0.0969	0.0672	0.0990	0.0819	0.1505	0.0718	0.0714	0.0654	0.0552	0.0869	0.2564	0.0677
30/04 pome	N° DATI	10	14	25	6	10	9	7	5	11	9	11	12	29	8
	MEDIA	0.0908	0.1025	0.0983	0.0878	0.1077	0.0895	0.1282	0.0891	0.1079	0.0734	0.0602	0.0669	0.1724	0.0591
	MAX	0.4188	0.6059	0.5064	0.3919	0.7245	0.4643	0.6464	0.4574	1.0688	0.3587	0.5146	0.3661	1.7382	0.3280
	MIN	0.0035	0.0082	0.0065	0.0059	0.0060	0.0045	0.0045	0.0046	0.0038	0.0030	0.0018	0.0022	0.0000	0.0021
	DEV. ST.	0.1083	0.1275	0.1174	0.1086	0.1392	0.1174	0.1671	0.1116	0.1681	0.0937	0.0839	0.0922	0.2340	0.0793
03/05 pome	N° DATI	10	14	28	9	7	9	7	5	10	7	13	12	22	9
	MEDIA	0.0532	0.0652	0.0780	0.0699	0.0791	0.0787	0.1132	0.0783	0.0910	0.0672	0.0566	0.0711	0.1745	0.0694

Allegati

	MAX	0.3141	0.3638	0.4821	0.3432	0.3502	0.5003	0.6597	0.3526	0.6249	0.3987	0.4479	0.4401	0.9868	0.3537
	MIN	0.0017	0.0037	0.0030	0.0026	0.0028	0.0026	0.0031	0.0028	0.0028	0.0027	0.0024	0.0025	0.0000	0.0028
	DEV. ST.	0.0671	0.0861	0.1020	0.0945	0.1027	0.1118	0.1614	0.1026	0.1306	0.0903	0.0827	0.1016	0.2235	0.0893
05/05 pome	N° DATI	8	17	28	8	13	15	7	5	10	7	13	13	24	9
	MEDIA	0.0898	0.0903	0.1201	0.1346	0.1170	0.0899	0.1152	0.0966	0.0787	0.0574	0.0475	0.0558	0.0811	0.0662
	MAX	0.3873	0.4931	0.7585	0.8595	0.5431	0.4945	1.1315	0.5165	0.4236	0.2975	0.2500	0.2931	1.1096	0.5717
	MIN	0.0052	0.0054	0.0053	0.0036	0.0030	0.0021	0.0024	0.0027	0.0020	0.0016	0.0000	0.0015	0.0000	0.0022
	DEV. ST.	0.1124	0.1151	0.1545	0.1884	0.1556	0.1223	0.1994	0.1329	0.1099	0.0747	0.0651	0.0788	0.1367	0.1023
07/05 pome	N° DATI	9	19	29	8	8	10	7	4	10	8	13	10	27	9
	MEDIA	0.0411	0.0400	0.0502	0.0433	0.0447	0.0635	0.0709	0.0512	0.0726	0.0417	0.0344	0.0415	0.1892	0.0304
	MAX	0.1934	0.2350	0.2387	0.2351	0.1858	0.4262	0.4373	0.1995	0.9446	0.1987	0.1991	0.1902	1.4395	0.1376
	MIN	0.0022	0.0024	0.0027	0.0024	0.0027	0.0028	0.0028	0.0030	0.0026	0.0022	0.0018	0.0018	0.0028	0.0014
	DEV. ST.	0.0506	0.0469	0.0593	0.0537	0.0515	0.0902	0.0994	0.0598	0.1329	0.0539	0.0462	0.0542	0.2610	0.0378
09/05 pome	N° DATI	11	10	20	6	8	8	7	12	9	7	15	11	24	6
	MEDIA	0.0518	0.0490	0.0524	0.0571	0.0536	0.0554	0.0590	0.0593	0.0696	0.0513	0.0500	0.0540	0.1288	0.0511
	MAX	0.2726	0.3085	0.3163	0.2612	0.2653	0.3905	0.3059	0.2795	0.5032	0.2312	0.3576	0.3828	1.4870	0.2748
	MIN	0.0014	0.0019	0.0019	0.0018	0.0019	0.0017	0.0021	0.0021	0.0022	0.0018	0.0017	0.0016	0.0023	0.0017
	DEV. ST.	0.0662	0.0645	0.0656	0.0767	0.0718	0.0790	0.0736	0.0776	0.0986	0.0646	0.0743	0.0764	0.1960	0.0691
12/05 pome	N° DATI	8	17	29	11	8	10	6	5	11	9	13	9	23	9
	MEDIA	0.0208	0.0402	0.0314	0.0272	0.0652	0.0472	0.0891	0.0574	0.0837	0.0471	0.0431	0.0540	0.1497	0.0538
	MAX	0.1094	0.3222	0.1862	0.1821	0.3858	0.2328	0.6533	0.2424	0.5791	0.2309	0.3171	0.2752	1.0745	0.2756
	MIN	0.0011	0.0008	0.0011	0.0010	0.0018	0.0018	0.0025	0.0022	0.0023	0.0023	0.0020	0.0020	0.0022	0.0021
	DEV. ST.	0.0252	0.0570	0.0413	0.0383	0.0911	0.0635	0.1315	0.0747	0.1297	0.0585	0.0603	0.0730	0.2108	0.0723
14/05 pome	N° DATI	11	17	29	11	10	12	8	5	9	7	14	8	25	8
	MEDIA	0.0426	0.0542	0.0722	0.0560	0.0579	0.0771	0.0742	0.0661	0.0753	0.0415	0.0361	0.0520	0.1891	0.0575

Allegati

	MAX	0.1816	0.3507	0.4127	0.3269	0.2887	0.4888	0.4535	0.3074	0.4323	0.2678	0.2317	0.3118	1.5085	0.4873
	MIN	0.0015	0.0019	0.0022	0.0016	0.0016	0.0016	0.0017	0.0022	0.0018	0.0011	0.0009	0.0014	0.0018	0.0017
	DEV. ST.	0.0517	0.0674	0.0907	0.0694	0.0809	0.0821	0.1204	0.1101	0.0918	0.1032	0.0585	0.0617	0.2345	0.2952
19/05 pome	N° DATI	9	16	27	10	8	11	6	5	11	9	11	7	20	8
	MEDIA	0.1539	0.1386	0.1614	0.1806	0.1807	0.1880	0.2047	0.1986	0.1973	0.1630	0.1845	0.1767	0.2751	0.1775
	MAX	0.7678	0.8127	0.8490	1.1676	0.8359	1.2095	1.0806	0.8847	1.0553	0.8532	1.5172	0.8917	2.2210	0.9373
	MIN	0.0022	0.0021	0.0023	0.0021	0.0023	0.0022	0.0026	0.0032	0.0025	0.0027	0.0023	0.0025	0.0031	0.0028
	DEV. ST.	0.1921	0.1707	0.2116	0.2538	0.2428	0.2666	0.2706	0.2677	0.2770	0.2159	0.2853	0.2451	0.3828	0.2493
24/05 pome	N° DATI	9	18	31	10	10	12	7	5	11	10	10	5	27	9
	MEDIA	0.0463	0.0423	0.0544	0.0633	0.0644	0.0595	0.0816	0.0725	0.0732	0.0506	0.1012	0.0746	0.1923	0.0538
	MAX	0.2747	0.2716	0.3608	0.3692	0.2910	0.4340	0.5396	0.3105	0.3978	0.2162	0.8036	0.5125	1.7311	0.2916
	MIN	0.0018	0.0015	0.0016	0.0015	0.0019	0.0017	0.0019	0.0020	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0000	0.0014
	DEV. ST.	0.0599	0.0539	0.0711	0.0854	0.0808	0.0832	0.1153	0.0975	0.1029	0.0610	0.1480	0.1132	0.2914	0.0739
26/05 pome	N° DATI	9	16	28	7	6	12	6	5	11	10	12	8	20	8
	MEDIA	0.0625	0.0573	0.0709	0.0898	0.0804	0.0559	0.0733	0.0625	0.0603	0.0475	0.1088	0.0630	0.1706	0.0568
	MAX	0.4234	0.3008	0.3840	0.4251	0.4337	0.3171	0.3605	0.2727	0.2962	0.2344	1.0611	0.3358	1.6148	0.2701
	MIN	0.0016	0.0015	0.0013	0.0012	0.0019	0.0012	0.0015	0.0014	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0021	0.0013
	DEV. ST.	0.0830	0.0730	0.0907	0.1248	0.1068	0.0780	0.0914	0.0821	0.0821	0.0630	0.1882	0.0882	0.2567	0.0778
28/05 pome	N° DATI	10	15	26	8	7	9	8	5	11	7	13	9	24	10
	MEDIA	0.0612	0.0805	0.0908	0.0923	0.1069	0.1038	0.1580	0.1045	0.1807	0.0944	0.0809	0.1063	0.1495	0.1230
	MAX	0.2426	0.4918	0.5150	0.4400	0.4485	0.5435	1.0156	0.3947	1.3468	0.5095	0.4573	0.4757	1.2447	0.6222
	MIN	0.0050	0.0065	0.0070	0.0085	0.0093	0.0084	0.0089	0.0097	0.0097	0.0092	0.0091	0.0092	0.0098	0.0106
	DEV. ST.	0.0648	0.0969	0.1081	0.1174	0.1298	0.1327	0.2243	0.1234	0.2674	0.1150	0.0969	0.1322	0.1935	0.1583

Allegati

	TB	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03/05 matt	N° DATI	10	15	23	6	8	9	7	3	8	6	11	12	25	10
	MEDIA	0.0016	0.0017	0.0032	0.0024	0.0030	0.0026	0.0091	0.0027	0.0038	0.0030	0.0021	0.0022	0.0095	0.0018
	MAX	0.0077	0.0064	0.0159	0.0062	0.0093	0.0067	0.0366	0.0074	0.0110	0.0082	0.0056	0.0064	0.0443	0.0051
	MIN	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0017	0.0016	0.0034	0.0021	0.0027	0.0022	0.0105	0.0024	0.0034	0.0026	0.0017	0.0019	0.0114	0.0015
05/05 matt	N° DATI	10	16	31	8	10	12	7	6	10	10	14	11	23	7
	MEDIA	0.0028	0.0037	0.0042	0.0031	0.0037	0.0040	0.0050	0.0058	0.0073	0.0055	0.0050	0.0053	0.0170	0.0038
	MAX	0.0072	0.0115	0.0150	0.0075	0.0097	0.0129	0.0149	0.0148	0.0238	0.0154	0.0138	0.0136	0.0698	0.0109
	MIN	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0004
	DEV. ST.	0.0024	0.0032	0.0039	0.0027	0.0033	0.0036	0.0049	0.0052	0.0071	0.0050	0.0046	0.0049	0.0182	0.0036
07/05 matt	N° DATI	9	17	27	7	10	11	6	5	11	9	13	10	20	9
	MEDIA	0.0024	0.0027	0.0029	0.0024	0.0032	0.0030	0.0041	0.0029	0.0029	0.0028	0.0021	0.0026	0.0045	0.0019
	MAX	0.0058	0.0085	0.0091	0.0067	0.0103	0.0108	0.0133	0.0076	0.0075	0.0082	0.0061	0.0085	0.0364	0.0048
	MIN	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
	DEV. ST.	0.0019	0.0022	0.0024	0.0019	0.0028	0.0026	0.0040	0.0024	0.0024	0.0024	0.0017	0.0023	0.0057	0.0015
12/05 matt	N° DATI	10	16	26	9	8	10	8	8	10	11	17	11	24	9
	MEDIA	0.0026	0.0037	0.0040	0.0035	0.0035	0.0035	0.0043	0.0027	0.0041	0.0023	0.0018	0.0021	0.0105	0.0022
	MAX	0.0071	0.0124	0.0130	0.0090	0.0091	0.0094	0.0152	0.0068	0.0183	0.0057	0.0047	0.0059	0.0526	0.0084
	MIN	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0022	0.0031	0.0034	0.0030	0.0030	0.0032	0.0042	0.0023	0.0041	0.0019	0.0015	0.0018	0.0114	0.0021
19/05 matt	N° DATI	9	19	30	6	10	12	7	5	11	11	12	9	24	7
	MEDIA	0.0075	0.0076	0.0094	0.0087	0.0097	0.0105	0.0117	0.0095	0.0097	0.0086	0.0080	0.0083	0.0151	0.0078
	MAX	0.0214	0.0202	0.0298	0.0216	0.0258	0.0296	0.0328	0.0233	0.0270	0.0228	0.0224	0.0251	0.0755	0.0200

Allegati

	MIN	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0072	0.0072	0.0091	0.0083	0.0093	0.0103	0.0117	0.0092	0.0096	0.0082	0.0079	0.0083	0.0171	0.0075
24/05 matt	N° DATI	9	13	30	7	7	10	7	4	11	9	11	8	20	8
	MEDIA	0.0043	0.0049	0.0049	0.0043	0.0052	0.0046	0.0060	0.0046	0.0048	0.0043	0.0046	0.0043	0.0096	0.0030
	MAX	0.0114	0.0137	0.0189	0.0112	0.0182	0.0129	0.0167	0.0108	0.0174	0.0125	0.0182	0.0123	0.0498	0.0092
	MIN	0.0004	0.0006	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0004
	DEV. ST.	0.0037	0.0043	0.0044	0.0037	0.0047	0.0040	0.0055	0.0039	0.0042	0.0037	0.0044	0.0038	0.0106	0.0026
26/05 matt	N° DATI	8	18	30	7	9	12	7	5	11	9	12	9	18	8
	MEDIA	0.0038	0.0039	0.0045	0.0055	0.0048	0.0043	0.0057	0.0047	0.0043	0.0034	0.0039	0.0040	0.0091	0.0040
	MAX	0.0124	0.0101	0.0167	0.0191	0.0149	0.0125	0.0214	0.0135	0.0134	0.0098	0.0126	0.0151	0.0505	0.0128
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001
	DEV. ST.	0.0037	0.0036	0.0043	0.0055	0.0047	0.0041	0.0058	0.0046	0.0040	0.0032	0.0039	0.0040	0.0108	0.0039
28/05 matt	N° DATI	9	16	29	7	9	12	7	5	10	10	12	8	24	8
	MEDIA	0.0039	0.0045	0.0051	0.0043	0.0052	0.0046	0.0067	0.0042	0.0041	0.0038	0.0035	0.0044	0.0118	0.0035
	MAX	0.0100	0.0117	0.0187	0.0112	0.0127	0.0123	0.0175	0.0110	0.0124	0.0091	0.0095	0.0155	0.0468	0.0087
	MIN	0.0008	0.0009	0.0009	0.0011	0.0012	0.0010	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0006	0.0007	0.0007
	DEV. ST.	0.0027	0.0031	0.0039	0.0030	0.0038	0.0033	0.0058	0.0032	0.0032	0.0026	0.0024	0.0036	0.0125	0.0025
30/04 pome	N° DATI	10	14	25	6	10	9	7	5	11	9	11	12	29	8
	MEDIA	0.0050	0.0056	0.0054	0.0047	0.0058	0.0047	0.0068	0.0048	0.0055	0.0039	0.0033	0.0034	0.0105	0.0031
	MAX	0.0139	0.0189	0.0158	0.0122	0.0226	0.0145	0.0218	0.0143	0.0334	0.0112	0.0161	0.0114	0.0543	0.0102
	MIN	0.0003	0.0007	0.0006	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0000	0.0002
	DEV. ST.	0.0042	0.0048	0.0045	0.0039	0.0054	0.0042	0.0067	0.0042	0.0062	0.0035	0.0035	0.0033	0.0117	0.0029
03/05 pome	N° DATI	10	14	28	9	7	9	7	5	10	7	13	12	22	9
	MEDIA	0.0030	0.0035	0.0041	0.0036	0.0041	0.0040	0.0060	0.0041	0.0046	0.0036	0.0029	0.0036	0.0112	0.0037
	MAX	0.0122	0.0114	0.0153	0.0107	0.0121	0.0156	0.0286	0.0110	0.0195	0.0125	0.0140	0.0137	0.0616	0.0110

Allegati

	MIN	0.0002	0.0003	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0000	0.0003
	DEV. ST.	0.0028	0.0031	0.0039	0.0035	0.0040	0.0040	0.0068	0.0039	0.0048	0.0036	0.0030	0.0036	0.0134	0.0035
05/05 pome	N° DATI	8	17	28	8	13	15	7	5	10	7	13	13	24	9
	MEDIA	0.0048	0.0049	0.0065	0.0069	0.0061	0.0047	0.0060	0.0050	0.0040	0.0031	0.0025	0.0028	0.0049	0.0033
	MAX	0.0121	0.0154	0.0244	0.0268	0.0208	0.0154	0.0353	0.0162	0.0132	0.0103	0.0078	0.0092	0.0369	0.0179
	MIN	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002
	DEV. ST.	0.0045	0.0046	0.0063	0.0071	0.0061	0.0047	0.0076	0.0050	0.0040	0.0031	0.0025	0.0028	0.0070	0.0037
07/05 pome	N° DATI	9	19	29	8	8	10	7	4	10	8	13	10	27	9
	MEDIA	0.0023	0.0022	0.0027	0.0023	0.0024	0.0032	0.0038	0.0028	0.0037	0.0022	0.0018	0.0022	0.0115	0.0016
	MAX	0.0068	0.0082	0.0089	0.0073	0.0074	0.0133	0.0140	0.0073	0.0295	0.0062	0.0062	0.0072	0.0711	0.0051
	MIN	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001
	DEV. ST.	0.0020	0.0019	0.0023	0.0020	0.0020	0.0031	0.0040	0.0024	0.0049	0.0019	0.0016	0.0020	0.0140	0.0015
09/05 pome	N° DATI	11	10	20	6	8	8	7	12	9	7	15	11	24	6
	MEDIA	0.0028	0.0026	0.0028	0.0030	0.0028	0.0029	0.0032	0.0031	0.0036	0.0028	0.0026	0.0028	0.0076	0.0027
	MAX	0.0085	0.0096	0.0099	0.0088	0.0083	0.0122	0.0096	0.0087	0.0157	0.0089	0.0112	0.0120	0.0464	0.0088
	MIN	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001
	DEV. ST.	0.0026	0.0025	0.0027	0.0029	0.0027	0.0030	0.0032	0.0029	0.0036	0.0027	0.0027	0.0028	0.0089	0.0027
12/05 pome	N° DATI	8	17	29	11	8	10	6	5	11	9	13	9	23	9
	MEDIA	0.0012	0.0022	0.0017	0.0014	0.0035	0.0024	0.0047	0.0030	0.0042	0.0026	0.0023	0.0028	0.0089	0.0028
	MAX	0.0034	0.0111	0.0066	0.0057	0.0120	0.0073	0.0204	0.0091	0.0181	0.0072	0.0099	0.0086	0.0432	0.0086
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0011	0.0024	0.0017	0.0014	0.0036	0.0024	0.0052	0.0029	0.0048	0.0025	0.0023	0.0028	0.0102	0.0028
14/05 pome	N° DATI	11	17	29	11	10	12	8	5	9	7	14	8	25	8
	MEDIA	0.0023	0.0029	0.0039	0.0029	0.0031	0.0040	0.0039	0.0035	0.0039	0.0022	0.0019	0.0027	0.0114	0.0030
	MAX	0.0064	0.0109	0.0161	0.0102	0.0090	0.0153	0.0142	0.0096	0.0135	0.0084	0.0074	0.0097	0.0645	0.0152

Allegati

	MIN	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	DEV. ST.	0.0021	0.0026	0.0038	0.0028	0.0031	0.0032	0.0046	0.0046	0.0036	0.0039	0.0022	0.0024	0.0122	0.0152
19/05 pome	N° DATI	9	16	27	10	8	11	6	5	11	9	11	7	20	8
	MEDIA	0.0084	0.0077	0.0086	0.0093	0.0094	0.0095	0.0110	0.0103	0.0101	0.0086	0.0093	0.0090	0.0162	0.0092
	MAX	0.0240	0.0254	0.0277	0.0365	0.0261	0.0378	0.0337	0.0280	0.0330	0.0266	0.0474	0.0278	0.0694	0.0293
	MIN	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0079	0.0076	0.0085	0.0096	0.0095	0.0100	0.0116	0.0103	0.0103	0.0086	0.0102	0.0092	0.0174	0.0095
24/05 pome	N° DATI	9	18	31	10	10	12	7	5	11	10	10	5	27	9
	MEDIA	0.0025	0.0024	0.0029	0.0034	0.0035	0.0031	0.0044	0.0037	0.0037	0.0028	0.0055	0.0038	0.0114	0.0028
	MAX	0.0086	0.0085	0.0116	0.0115	0.0112	0.0136	0.0168	0.0106	0.0124	0.0093	0.0251	0.0160	0.0695	0.0102
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
	DEV. ST.	0.0024	0.0023	0.0029	0.0035	0.0035	0.0033	0.0047	0.0038	0.0039	0.0027	0.0065	0.0044	0.0142	0.0029
26/05 pome	N° DATI	9	16	28	7	6	12	6	5	11	10	12	8	20	8
	MEDIA	0.0034	0.0031	0.0038	0.0045	0.0043	0.0029	0.0041	0.0033	0.0031	0.0025	0.0054	0.0032	0.0099	0.0029
	MAX	0.0132	0.0117	0.0129	0.0133	0.0156	0.0099	0.0152	0.0088	0.0092	0.0073	0.0331	0.0105	0.0504	0.0084
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001
	DEV. ST.	0.0034	0.0030	0.0038	0.0047	0.0044	0.0030	0.0045	0.0033	0.0030	0.0025	0.0069	0.0033	0.0115	0.0029
28/05 pome	N° DATI	10	15	26	8	7	9	8	5	11	7	13	9	24	10
	MEDIA	0.0035	0.0044	0.0050	0.0048	0.0057	0.0054	0.0082	0.0056	0.0093	0.0051	0.0046	0.0056	0.0093	0.0065
	MAX	0.0086	0.0154	0.0161	0.0137	0.0170	0.0204	0.0317	0.0127	0.0421	0.0159	0.0151	0.0149	0.0686	0.0194
	MIN	0.0004	0.0006	0.0006	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0010
	DEV. ST.	0.0025	0.0037	0.0041	0.0041	0.0048	0.0049	0.0083	0.0046	0.0098	0.0042	0.0039	0.0047	0.0106	0.0058

Allegati

	AL	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03/05 matt	N° DATI	10	15	23	6	8	9	7	3	8	6	11	12	25	10
	MEDIA	0.0032	0.0036	0.0064	0.0051	0.0065	0.0058	0.0167	0.0064	0.0084	0.0071	0.0054	0.0054	0.0189	0.0048
	MAX	0.0122	0.0094	0.0222	0.0090	0.0137	0.0095	0.0508	0.0117	0.0165	0.0122	0.0117	0.0110	0.0695	0.0109
	MIN	0.0007	0.0008	0.0010	0.0014	0.0016	0.0013	0.0016	0.0016	0.0017	0.0014	0.0013	0.0011	0.0010	0.0010
	DEV. ST.	0.0023	0.0018	0.0043	0.0022	0.0030	0.0026	0.0135	0.0031	0.0039	0.0034	0.0027	0.0026	0.0165	0.0024
05/05 matt	N° DATI	10	16	31	8	10	12	7	6	10	10	14	11	23	7
	MEDIA	0.0057	0.0079	0.0090	0.0066	0.0075	0.0083	0.0097	0.0122	0.0140	0.0110	0.0100	0.0107	0.0327	0.0080
	MAX	0.0100	0.0173	0.0239	0.0119	0.0135	0.0180	0.0201	0.0236	0.0390	0.0240	0.0192	0.0189	0.1093	0.0156
	MIN	0.0015	0.0019	0.0022	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0026	0.0026	0.0025	0.0023	0.0024	0.0028	0.0010
	DEV. ST.	0.0025	0.0036	0.0044	0.0028	0.0034	0.0039	0.0054	0.0058	0.0086	0.0061	0.0052	0.0051	0.0259	0.0041
07/05 matt	N° DATI	9	17	27	7	10	11	6	5	11	9	13	10	20	9
	MEDIA	0.0063	0.0072	0.0073	0.0060	0.0077	0.0072	0.0088	0.0075	0.0072	0.0067	0.0054	0.0064	0.0095	0.0049
	MAX	0.0132	0.0170	0.0162	0.0121	0.0181	0.0155	0.0181	0.0164	0.0155	0.0125	0.0119	0.0126	0.0536	0.0129
	MIN	0.0019	0.0020	0.0016	0.0017	0.0019	0.0015	0.0016	0.0019	0.0019	0.0019	0.0015	0.0015	0.0015	0.0012
	DEV. ST.	0.0029	0.0035	0.0036	0.0030	0.0039	0.0036	0.0046	0.0038	0.0036	0.0032	0.0030	0.0032	0.0083	0.0029
12/05 matt	N° DATI	10	16	26	9	8	10	8	8	10	11	17	11	24	9
	MEDIA	0.0057	0.0086	0.0093	0.0076	0.0079	0.0072	0.0084	0.0061	0.0086	0.0054	0.0043	0.0049	0.0202	0.0048
	MAX	0.0101	0.0188	0.0233	0.0154	0.0140	0.0140	0.0188	0.0107	0.0254	0.0096	0.0072	0.0160	0.0948	0.0119
	MIN	0.0021	0.0027	0.0028	0.0026	0.0025	0.0018	0.0022	0.0019	0.0023	0.0015	0.0014	0.0013	0.0013	0.0011
	DEV. ST.	0.0021	0.0029	0.0035	0.0029	0.0030	0.0034	0.0044	0.0025	0.0047	0.0022	0.0017	0.0023	0.0165	0.0025
19/05 matt	N° DATI	9	19	30	6	10	12	7	5	11	11	12	9	24	7
	MEDIA	0.0135	0.0138	0.0170	0.0153	0.0171	0.0181	0.0200	0.0169	0.0170	0.0154	0.0142	0.0145	0.0279	0.0139

Allegati

	MAX	0.0298	0.0297	0.0470	0.0324	0.0396	0.0433	0.0456	0.0355	0.0391	0.0365	0.0327	0.0310	0.1360	0.0279
	MIN	0.0014	0.0017	0.0018	0.0017	0.0018	0.0019	0.0023	0.0020	0.0018	0.0016	0.0014	0.0015	0.0021	0.0016
	DEV. ST.	0.0097	0.0098	0.0123	0.0114	0.0125	0.0137	0.0154	0.0125	0.0132	0.0115	0.0112	0.0108	0.0256	0.0101
24/05 matt	N° DATI	9	13	30	7	7	10	7	4	11	9	11	8	20	8
	MEDIA	0.0096	0.0107	0.0109	0.0095	0.0113	0.0100	0.0125	0.0107	0.0108	0.0098	0.0100	0.0094	0.0195	0.0068
	MAX	0.0167	0.0203	0.0262	0.0184	0.0287	0.0189	0.0232	0.0166	0.0242	0.0200	0.0264	0.0172	0.0737	0.0128
	MIN	0.0023	0.0032	0.0031	0.0033	0.0036	0.0037	0.0046	0.0045	0.0046	0.0035	0.0032	0.0031	0.0031	0.0022
	DEV. ST.	0.0037	0.0043	0.0045	0.0037	0.0050	0.0037	0.0051	0.0036	0.0040	0.0037	0.0048	0.0036	0.0145	0.0028
26/05 matt	N° DATI	8	18	30	7	9	12	7	5	11	9	12	9	18	8
	MEDIA	0.0072	0.0072	0.0085	0.0099	0.0089	0.0079	0.0102	0.0087	0.0078	0.0064	0.0072	0.0074	0.0177	0.0074
	MAX	0.0178	0.0161	0.0250	0.0266	0.0226	0.0185	0.0297	0.0217	0.0199	0.0145	0.0197	0.0210	0.0909	0.0177
	MIN	0.0011	0.0011	0.0013	0.0012	0.0014	0.0013	0.0015	0.0015	0.0013	0.0011	0.0010	0.0011	0.0028	0.0013
	DEV. ST.	0.0049	0.0046	0.0056	0.0076	0.0060	0.0051	0.0073	0.0058	0.0051	0.0042	0.0052	0.0052	0.0157	0.0049
28/05 matt	N° DATI	9	16	29	7	9	12	7	5	10	10	12	8	24	8
	MEDIA	0.0115	0.0129	0.0140	0.0129	0.0147	0.0132	0.0161	0.0119	0.0115	0.0114	0.0107	0.0119	0.0248	0.0105
	MAX	0.0206	0.0229	0.0268	0.0217	0.0231	0.0226	0.0263	0.0218	0.0203	0.0213	0.0210	0.0216	0.0843	0.0213
	MIN	0.0047	0.0053	0.0053	0.0053	0.0068	0.0055	0.0054	0.0046	0.0043	0.0043	0.0033	0.0034	0.0038	0.0023
	DEV. ST.	0.0051	0.0055	0.0056	0.0058	0.0056	0.0055	0.0058	0.0054	0.0052	0.0055	0.0057	0.0055	0.0165	0.0053
30/04 pome	N° DATI	10	14	25	6	10	9	7	5	11	9	11	12	29	8
	MEDIA	0.0122	0.0135	0.0131	0.0114	0.0134	0.0110	0.0142	0.0114	0.0119	0.0088	0.0072	0.0073	0.0220	0.0069
	MAX	0.0193	0.0232	0.0245	0.0187	0.0277	0.0217	0.0303	0.0216	0.0409	0.0166	0.0199	0.0143	0.0966	0.0145
	MIN	0.0018	0.0042	0.0033	0.0030	0.0031	0.0023	0.0023	0.0023	0.0019	0.0015	0.0009	0.0011	0.0000	0.0011
	DEV. ST.	0.0047	0.0049	0.0050	0.0045	0.0058	0.0049	0.0071	0.0054	0.0072	0.0042	0.0045	0.0039	0.0174	0.0036
03/05 pome	N° DATI	10	14	28	9	7	9	7	5	10	7	13	12	22	9
	MEDIA	0.0068	0.0078	0.0082	0.0069	0.0082	0.0078	0.0110	0.0081	0.0087	0.0071	0.0059	0.0070	0.0223	0.0076

Allegati

	MAX	0.0169	0.0139	0.0213	0.0131	0.0168	0.0191	0.0397	0.0150	0.0243	0.0153	0.0171	0.0168	0.0900	0.0140
	MIN	0.0009	0.0019	0.0015	0.0013	0.0014	0.0013	0.0016	0.0014	0.0014	0.0014	0.0012	0.0013	0.0000	0.0014
	DEV. ST.	0.0034	0.0033	0.0042	0.0037	0.0042	0.0043	0.0085	0.0042	0.0053	0.0040	0.0032	0.0038	0.0201	0.0037
05/05 pome	N° DATI	8	17	28	8	13	15	7	5	10	7	13	13	24	9
	MEDIA	0.0092	0.0096	0.0125	0.0121	0.0109	0.0081	0.0115	0.0094	0.0070	0.0056	0.0045	0.0050	0.0099	0.0060
	MAX	0.0162	0.0205	0.0391	0.0329	0.0290	0.0198	0.0433	0.0225	0.0177	0.0144	0.0102	0.0112	0.0625	0.0219
	MIN	0.0030	0.0028	0.0030	0.0026	0.0020	0.0015	0.0017	0.0019	0.0014	0.0012	0.0000	0.0011	0.0000	0.0013
	DEV. ST.	0.0048	0.0049	0.0074	0.0081	0.0073	0.0057	0.0110	0.0055	0.0047	0.0037	0.0030	0.0033	0.0108	0.0042
07/05 pome	N° DATI	9	19	29	8	8	10	7	4	10	8	13	10	27	9
	MEDIA	0.0056	0.0057	0.0071	0.0061	0.0066	0.0077	0.0088	0.0073	0.0082	0.0056	0.0047	0.0050	0.0230	0.0040
	MAX	0.0123	0.0153	0.0190	0.0165	0.0168	0.0167	0.0195	0.0211	0.0361	0.0145	0.0122	0.0115	0.1187	0.0096
	MIN	0.0011	0.0012	0.0014	0.0012	0.0014	0.0015	0.0014	0.0015	0.0013	0.0011	0.0006	0.0009	0.0015	0.0007
	DEV. ST.	0.0032	0.0035	0.0044	0.0043	0.0046	0.0047	0.0056	0.0048	0.0065	0.0035	0.0031	0.0029	0.0214	0.0026
09/05 pome	N° DATI	11	10	20	6	8	8	7	12	9	7	15	11	24	6
	MEDIA	0.0056	0.0052	0.0059	0.0057	0.0054	0.0055	0.0063	0.0063	0.0070	0.0056	0.0051	0.0055	0.0152	0.0052
	MAX	0.0105	0.0118	0.0129	0.0123	0.0104	0.0149	0.0134	0.0114	0.0193	0.0124	0.0137	0.0146	0.0624	0.0122
	MIN	0.0007	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0009	0.0011	0.0011	0.0011	0.0009	0.0008	0.0008	0.0011	0.0009
	DEV. ST.	0.0030	0.0028	0.0031	0.0033	0.0030	0.0034	0.0037	0.0032	0.0041	0.0031	0.0032	0.0032	0.0133	0.0031
12/05 pome	N° DATI	8	17	29	11	8	10	6	5	11	9	13	9	23	9
	MEDIA	0.0024	0.0047	0.0035	0.0027	0.0071	0.0046	0.0084	0.0059	0.0077	0.0050	0.0044	0.0052	0.0173	0.0053
	MAX	0.0043	0.0235	0.0092	0.0070	0.0149	0.0100	0.0250	0.0126	0.0226	0.0098	0.0121	0.0111	0.0600	0.0120
	MIN	0.0006	0.0004	0.0005	0.0005	0.0009	0.0010	0.0013	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011	0.0010	0.0007	0.0011
	DEV. ST.	0.0011	0.0039	0.0019	0.0015	0.0041	0.0026	0.0064	0.0030	0.0057	0.0028	0.0025	0.0031	0.0151	0.0031
14/05 pome	N° DATI	11	17	29	11	10	12	8	5	9	7	14	8	25	8
	MEDIA	0.0046	0.0057	0.0080	0.0055	0.0059	0.0074	0.0071	0.0069	0.0070	0.0042	0.0037	0.0049	0.0220	0.0056

Allegati

	MAX	0.0102	0.0146	0.0300	0.0132	0.0116	0.0218	0.0175	0.0126	0.0165	0.0102	0.0102	0.0119	0.0896	0.0192
	MIN	0.0010	0.0010	0.0013	0.0010	0.0011	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0007	0.0007	0.0008	0.0009	0.0010
	DEV. ST.	0.0024	0.0030	0.0048	0.0032	0.0035	0.0036	0.0055	0.0057	0.0040	0.0047	0.0026	0.0029	0.0189	0.0233
19/05 pome	N° DATI	9	16	27	10	8	11	6	5	11	9	11	7	20	8
	MEDIA	0.0162	0.0135	0.0149	0.0157	0.0162	0.0160	0.0188	0.0180	0.0174	0.0154	0.0160	0.0156	0.0308	0.0160
	MAX	0.0341	0.0344	0.0385	0.0447	0.0350	0.0463	0.0443	0.0389	0.0439	0.0357	0.0581	0.0341	0.1001	0.0385
	MIN	0.0016	0.0015	0.0016	0.0015	0.0016	0.0016	0.0019	0.0022	0.0018	0.0019	0.0017	0.0018	0.0022	0.0020
	DEV. ST.	0.0102	0.0101	0.0108	0.0120	0.0119	0.0123	0.0147	0.0124	0.0127	0.0107	0.0126	0.0111	0.0255	0.0117
24/05 pome	N° DATI	9	18	31	10	10	12	7	5	11	10	10	5	27	9
	MEDIA	0.0049	0.0047	0.0057	0.0061	0.0067	0.0058	0.0078	0.0069	0.0069	0.0054	0.0095	0.0068	0.0223	0.0053
	MAX	0.0108	0.0110	0.0161	0.0151	0.0156	0.0173	0.0206	0.0148	0.0166	0.0129	0.0349	0.0209	0.0965	0.0142
	MIN	0.0009	0.0008	0.0009	0.0008	0.0011	0.0009	0.0010	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0000	0.0007
	DEV. ST.	0.0027	0.0027	0.0034	0.0042	0.0041	0.0038	0.0057	0.0043	0.0045	0.0032	0.0088	0.0055	0.0214	0.0033
26/05 pome	N° DATI	9	16	28	7	6	12	6	5	11	10	12	8	20	8
	MEDIA	0.0064	0.0058	0.0073	0.0078	0.0078	0.0053	0.0073	0.0059	0.0056	0.0046	0.0091	0.0058	0.0192	0.0053
	MAX	0.0162	0.0163	0.0179	0.0163	0.0217	0.0121	0.0212	0.0122	0.0113	0.0100	0.0406	0.0128	0.0782	0.0115
	MIN	0.0012	0.0010	0.0009	0.0008	0.0013	0.0008	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0008	0.0007	0.0012	0.0008
	DEV. ST.	0.0042	0.0036	0.0046	0.0057	0.0053	0.0036	0.0058	0.0038	0.0035	0.0030	0.0090	0.0038	0.0170	0.0034
28/05 pome	N° DATI	10	15	26	8	7	9	8	5	11	7	13	9	24	10
	MEDIA	0.0099	0.0112	0.0128	0.0125	0.0144	0.0132	0.0178	0.0142	0.0199	0.0133	0.0120	0.0135	0.0211	0.0159
	MAX	0.0195	0.0197	0.0306	0.0209	0.0248	0.0284	0.0389	0.0224	0.0516	0.0215	0.0210	0.0193	0.1236	0.0297
	MIN	0.0025	0.0033	0.0036	0.0044	0.0048	0.0043	0.0045	0.0050	0.0050	0.0047	0.0024	0.0047	0.0035	0.0054
	DEV. ST.	0.0048	0.0046	0.0052	0.0050	0.0054	0.0054	0.0082	0.0052	0.0105	0.0052	0.0047	0.0045	0.0160	0.0061

Allegati

	TOT	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03/05 matt	N° DATI	10	15	23	6	8	9	7	3	8	6	11	12	25	10
	MEDIA	0.0110	0.0117	0.0218	0.0172	0.0216	0.0181	0.0646	0.0182	0.0263	0.0208	0.0148	0.0157	0.0640	0.0130
	MAX	0.2287	0.1710	0.2699	0.3104	0.3821	0.3038	0.4271	0.3630	0.4203	0.3393	0.2255	0.2332	0.1787	0.1914
	MIN	0.0001	0.3920	0.9169	0.4186	0.6276	0.4340	1.8919	0.4100	0.7757	0.5152	0.3785	0.4573	2.9014	0.3606
	DEV. ST.	0.0212	0.0186	0.0383	0.0296	0.0366	0.0290	0.1317	0.0262	0.0433	0.0321	0.0227	0.0244	0.1308	0.0200
05/05 matt	N° DATI	10	16	31	8	10	12	7	6	10	10	14	11	23	7
	MEDIA	0.0192	0.0253	0.0291	0.0211	0.0259	0.0279	0.0356	0.0395	0.0513	0.0372	0.0347	0.0377	0.1128	0.0254
	MAX	0.1943	0.2536	0.3813	0.2042	0.3096	0.2956	0.4784	0.3859	0.7208	0.3472	0.4415	0.3983	1.6016	0.2944
	MIN	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0004
	DEV. ST.	0.0308	0.0393	0.0477	0.0329	0.0440	0.0458	0.0639	0.0614	0.0904	0.0567	0.0577	0.0641	0.1976	0.0415
07/05 matt	N° DATI	9	17	27	7	10	11	6	5	11	9	13	10	20	9
	MEDIA	0.0166	0.0190	0.0202	0.0165	0.0229	0.0209	0.0296	0.0205	0.0208	0.0194	0.0141	0.0186	0.0302	0.0132
	MAX	0.1548	0.2300	0.2907	0.1646	0.3047	0.2511	0.4267	0.1876	0.2161	0.2073	0.1693	0.2329	0.7919	0.1353
	MIN	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
	DEV. ST.	0.0231	0.0268	0.0300	0.0241	0.0385	0.0326	0.0540	0.0300	0.0326	0.0294	0.0200	0.0303	0.0622	0.0184
12/05 matt	N° DATI	10	16	26	9	8	10	8	8	10	11	17	11	24	9
	MEDIA	0.0180	0.0257	0.0274	0.0246	0.0247	0.0244	0.0313	0.0182	0.0289	0.0157	0.0122	0.0146	0.0704	0.0154
	MAX	0.1764	0.2965	0.3369	0.2439	0.2402	0.2700	0.4858	0.2119	0.4294	0.1590	0.1518	0.1904	0.9836	0.1584
	MIN	0.0003	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0276	0.0389	0.0421	0.0401	0.0390	0.0404	0.0603	0.0280	0.0503	0.0235	0.0182	0.0236	0.1276	0.0248
19/05 matt	N° DATI	9	19	30	6	10	12	7	5	11	11	12	9	24	7
	MEDIA	0.0513	0.0520	0.0642	0.0599	0.0668	0.0737	0.0824	0.0649	0.0665	0.0584	0.0536	0.0593	0.1009	0.0537

Allegati

	MAX	0.5528	0.5388	0.8938	0.6909	0.8255	0.8156	0.9882	0.6702	0.7781	0.6028	0.6760	0.8049	1.9563	0.5803
	MIN	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0856	0.0847	0.1090	0.1020	0.1141	0.1298	0.1506	0.1077	0.1113	0.0946	0.0887	0.1113	0.1907	0.0927
24/05 matt	N° DATI	9	13	30	7	7	10	7	4	11	9	11	8	20	8
	MEDIA	0.0296	0.0341	0.0343	0.0296	0.0358	0.0321	0.0433	0.0320	0.0330	0.0294	0.0316	0.0301	0.0638	0.0201
	MAX	0.2748	0.3838	0.4763	0.2698	0.4385	0.3156	0.5322	0.3296	0.3914	0.3011	0.4273	0.3097	0.8773	0.2143
	MIN	0.0004	0.0006	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0004
	DEV. ST.	0.0442	0.0539	0.0559	0.0446	0.0583	0.0513	0.0771	0.0504	0.0523	0.0445	0.0526	0.0485	0.1088	0.0302
26/05 matt	N° DATI	8	18	30	7	9	12	7	5	11	9	12	9	18	8
	MEDIA	0.0261	0.0264	0.0306	0.0381	0.0331	0.0301	0.0401	0.0322	0.0299	0.0228	0.0267	0.0279	0.0608	0.0280
	MAX	0.3388	0.2823	0.4375	0.4680	0.4186	0.3446	0.4453	0.3080	0.3858	0.2135	0.3891	0.3968	1.3535	0.3795
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001
	DEV. ST.	0.0436	0.0430	0.0501	0.0660	0.0572	0.0519	0.0721	0.0544	0.0490	0.0358	0.0473	0.0493	0.1163	0.0498
28/05 matt	N° DATI	9	16	29	7	9	12	7	5	10	10	12	8	24	8
	MEDIA	0.0273	0.0310	0.0363	0.0297	0.0376	0.0328	0.0489	0.0289	0.0287	0.0269	0.0241	0.0312	0.0794	0.0251
	MAX	0.2455	0.2775	0.4509	0.2602	0.4015	0.3242	0.5561	0.2964	0.2608	0.2761	0.2209	0.3920	1.2676	0.2679
	MIN	0.0008	0.0009	0.0009	0.0011	0.0012	0.0010	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0006	0.0007	0.0007
	DEV. ST.	0.0354	0.0392	0.0532	0.0363	0.0544	0.0447	0.0836	0.0390	0.0388	0.0354	0.0296	0.0476	0.1397	0.0368
30/04 pome	N° DATI	10	14	25	6	10	9	7	5	11	9	11	12	29	8
	MEDIA	0.036	0.041	0.039	0.035	0.042	0.035	0.050	0.035	0.042	0.029	0.024	0.026	0.068	0.023
	MAX	0.419	0.606	0.506	0.392	0.725	0.464	0.646	0.457	1.069	0.359	0.515	0.366	1.738	0.328
	MIN	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	DEV. ST.	0.060	0.071	0.065	0.060	0.077	0.065	0.093	0.062	0.093	0.052	0.046	0.051	0.127	0.044
03/05 pome	N° DATI	10	14	28	9	7	9	7	5	10	7	13	12	22	9
	MEDIA	0.0210	0.0255	0.0301	0.0268	0.0305	0.0302	0.0434	0.0302	0.0348	0.0260	0.0218	0.0272	0.0693	0.0269

Allegati

	MAX	0.3141	0.3638	0.4821	0.3432	0.3502	0.5003	0.6597	0.3526	0.6249	0.3987	0.4479	0.4401	0.9868	0.3537
	MIN	0.0002	0.0003	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0000	0.0003
	DEV. ST.	0.0369	0.0479	0.0565	0.0525	0.0570	0.0622	0.0888	0.0569	0.0725	0.0500	0.0460	0.0566	0.1194	0.0494
05/05 pome	N° DATI	8	17	28	8	13	15	7	5	10	7	13	13	24	9
	MEDIA	0.0346	0.0349	0.0464	0.0512	0.0447	0.0342	0.0442	0.0370	0.0299	0.0220	0.0182	0.0212	0.0319	0.0252
	MAX	0.3873	0.4931	0.7585	0.8595	0.5431	0.4945	1.1315	0.5165	0.4236	0.2975	0.2500	0.2931	1.1096	0.5717
	MIN	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002
	DEV. ST.	0.0622	0.0637	0.0852	0.1044	0.0860	0.0676	0.1098	0.0737	0.0609	0.0412	0.0360	0.0437	0.0738	0.0568
07/05 pome	N° DATI	9	19	29	8	8	10	7	4	10	8	13	10	27	9
	MEDIA	0.0163	0.0160	0.0200	0.0173	0.0179	0.0248	0.0278	0.0204	0.0282	0.0165	0.0136	0.0162	0.0746	0.0120
	MAX	0.1934	0.2350	0.2387	0.2351	0.1858	0.4262	0.4373	0.1995	0.9446	0.1987	0.1991	0.1902	1.4395	0.1376
	MIN	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0001
	DEV. ST.	0.0277	0.0255	0.0323	0.0292	0.0278	0.0498	0.0546	0.0325	0.0734	0.0296	0.0253	0.0299	0.1405	0.0206
09/05 pome	N° DATI	11	10	20	6	8	8	7	12	9	7	15	11	24	6
	MEDIA	0.020	0.019	0.020	0.022	0.021	0.021	0.023	0.023	0.027	0.020	0.019	0.021	0.051	0.020
	MAX	0.273	0.308	0.316	0.261	0.265	0.390	0.306	0.279	0.503	0.231	0.358	0.383	1.487	0.275
	MIN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	DEV. ST.	0.037	0.036	0.036	0.042	0.040	0.044	0.040	0.043	0.055	0.036	0.041	0.042	0.107	0.038
12/05 pome	N° DATI	8	17	29	11	8	10	6	5	11	9	13	9	23	9
	MEDIA	0.0081	0.0157	0.0122	0.0104	0.0252	0.0181	0.0340	0.0221	0.0319	0.0182	0.0166	0.0207	0.0586	0.0206
	MAX	0.1094	0.3222	0.1862	0.1821	0.3858	0.2328	0.6533	0.2424	0.5791	0.2309	0.3171	0.2752	1.0745	0.2756
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.0139	0.0311	0.0228	0.0213	0.0504	0.0352	0.0726	0.0414	0.0719	0.0323	0.0334	0.0405	0.1144	0.0401
14/05 pome	N° DATI	11	17	29	11	10	12	8	5	9	7	14	8	25	8
	MEDIA	0.0165	0.0209	0.0280	0.0215	0.0223	0.0295	0.0284	0.0255	0.0287	0.0159	0.0139	0.0198	0.0742	0.0220

Allegati

	MAX	0.1816	0.3507	0.4127	0.3269	0.2887	0.4888	0.4535	0.3074	0.4323	0.2678	0.2317	0.3118	1.5085	0.4873
	MIN	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	DEV. ST.	0.0285	0.0373	0.0499	0.0383	0.0448	0.0454	0.0666	0.0606	0.0508	0.0571	0.0324	0.0341	0.1264	0.1594
19/05 pome	N° DATI	9	16	27	10	8	11	6	5	11	9	11	7	20	8
	MEDIA	0.0595	0.0533	0.0616	0.0685	0.0688	0.0712	0.0782	0.0756	0.0749	0.0624	0.0700	0.0671	0.1074	0.0675
	MAX	0.7678	0.8127	0.8490	1.1676	0.8359	1.2095	1.0806	0.8847	1.0553	0.8532	1.5172	0.8917	2.2210	0.9373
	MIN	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	DEV. ST.	0.1057	0.0934	0.1166	0.1403	0.1340	0.1475	0.1486	0.1480	0.1533	0.1191	0.1581	0.1357	0.2087	0.1378
24/05 pome	N° DATI	9	18	31	10	10	12	7	5	11	10	10	5	27	9
	MEDIA	0.0179	0.0165	0.0210	0.0242	0.0249	0.0228	0.0313	0.0277	0.0280	0.0196	0.0387	0.0284	0.0753	0.0206
	MAX	0.2747	0.2716	0.3608	0.3692	0.2910	0.4340	0.5396	0.3105	0.3978	0.2162	0.8036	0.5125	1.7311	0.2916
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
	DEV. ST.	0.0331	0.0297	0.0393	0.0471	0.0445	0.0460	0.0636	0.0540	0.0570	0.0335	0.0810	0.0625	0.1580	0.0409
26/05 pome	N° DATI	9	16	28	7	6	12	6	5	11	10	12	8	20	8
	MEDIA	0.0241	0.0221	0.0273	0.0340	0.0308	0.0214	0.0282	0.0239	0.0230	0.0182	0.0411	0.0240	0.0666	0.0217
	MAX	0.4234	0.3008	0.3840	0.4251	0.4337	0.3171	0.3605	0.2727	0.2962	0.2344	1.0611	0.3358	1.6148	0.2701
	MIN	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001
	DEV. ST.	0.0458	0.0402	0.0499	0.0691	0.0588	0.0431	0.0498	0.0454	0.0455	0.0348	0.1041	0.0489	0.1400	0.0431
28/05 pome	N° DATI	10	15	26	8	7	9	8	5	11	7	13	9	24	10
	MEDIA	0.0249	0.0320	0.0362	0.0365	0.0424	0.0408	0.0613	0.0415	0.0700	0.0376	0.0325	0.0418	0.0600	0.0485
	MAX	0.2426	0.4918	0.5150	0.4400	0.4485	0.5435	1.0156	0.3947	1.3468	0.5095	0.4573	0.4757	1.2447	0.6222
	MIN	0.0004	0.0006	0.0006	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0010
	DEV. ST.	0.0353	0.0535	0.0597	0.0652	0.0720	0.0736	0.1247	0.0684	0.1485	0.0637	0.0535	0.0737	0.1040	0.0879

Allegato II

Valori di deposizione [$\mu\text{g}/\text{viaggio}$] giornaliera del particolato analizzata nella zona extratoracica (HA), tracheobronchiale (TB), alveolare (AL) e nell'intero tratto respiratorio per classe dimensionale.

Allegati

HA	0,3 - 0,5													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00233	0.00362	0.00472	0.00552	0.00756	0.00847	0.01006	0.00996	0.01093	0.01139	0.01004	0.00941	0.00851	0.00887
05-mag	0.00552	0.00825	0.00884	0.00691	0.00727	0.00836	0.00793	0.01212	0.00955	0.00845	0.00848	0.00891	0.00947	0.00661
07-mag	0.01159	0.01349	0.01314	0.01125	0.01314	0.01257	0.01228	0.01437	0.01305	0.01126	0.01093	0.01134	0.00754	0.01013
12-mag	0.00510	0.00868	0.01011	0.00794	0.00938	0.00691	0.00722	0.00820	0.00799	0.00734	0.00609	0.00690	0.00605	0.00518
19-mag	0.00526	0.00550	0.00696	0.00447	0.00580	0.00491	0.00562	0.00595	0.00495	0.00497	0.00420	0.00480	0.00570	0.00511
24-mag	0.01035	0.01085	0.01188	0.00984	0.01122	0.01026	0.01137	0.01297	0.01226	0.01091	0.01031	0.01002	0.00879	0.00824
26-mag	0.00390	0.00427	0.00521	0.00391	0.00493	0.00508	0.00523	0.00555	0.00471	0.00408	0.00386	0.00454	0.00537	0.00460
28-mag	0.01930	0.02073	0.02111	0.02078	0.02161	0.02019	0.02009	0.01963	0.01866	0.02001	0.01998	0.01960	0.01465	0.01973
30-apr	0.01690	0.01857	0.01900	0.01780	0.01804	0.01738	0.01695	0.01938	0.01594	0.01404	0.01121	0.01098	0.01278	0.01123
03-mag	0.00955	0.01050	0.00853	0.00637	0.00831	0.00768	0.00733	0.00846	0.00706	0.00664	0.00618	0.00670	0.00768	0.00787
05-mag	0.00547	0.00644	0.00809	0.00564	0.00494	0.00327	0.00534	0.00707	0.00276	0.00259	0.00183	0.00214	0.00434	0.00320
07-mag	0.01097	0.01233	0.01581	0.01502	0.01621	0.01546	0.01638	0.01675	0.01367	0.01262	0.01067	0.00968	0.00883	0.00874
09-mag	0.00621	0.00590	0.00670	0.00575	0.00597	0.00546	0.00645	0.00796	0.00776	0.00641	0.00587	0.00650	0.00619	0.00593
12-mag	0.00244	0.00544	0.00379	0.00227	0.00707	0.00375	0.00420	0.00546	0.00508	0.00412	0.00377	0.00400	0.00512	0.00408
14-mag	0.00391	0.00524	0.00682	0.00422	0.00515	0.00583	0.00436	0.00689	0.00441	0.00337	0.00321	0.00344	0.00507	0.00428
19-mag	0.01031	0.00473	0.00558	0.00500	0.00588	0.00550	0.00712	0.00852	0.00766	0.00792	0.00671	0.00766	0.00689	0.00816
24-mag	0.00480	0.00499	0.00538	0.00408	0.00558	0.00515	0.00491	0.00537	0.00554	0.00467	0.00439	0.00437	0.00682	0.00449
26-mag	0.00431	0.00422	0.00559	0.00341	0.00445	0.00327	0.00342	0.00405	0.00367	0.00293	0.00268	0.00370	0.00517	0.00375
28-mag	0.01812	0.01777	0.02014	0.01955	0.02098	0.01908	0.02039	0.02143	0.02127	0.02040	0.01797	0.01831	0.01552	0.02184

Allegati

HA	0,5 - 0,7													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00206	0.00301	0.00394	0.00386	0.00503	0.00521	0.00776	0.00616	0.00689	0.00676	0.00620	0.00579	0.01248	0.00562
05-mag	0.00430	0.00636	0.00698	0.00536	0.00582	0.00664	0.00611	0.00983	0.00744	0.00620	0.00652	0.00748	0.01787	0.00614
07-mag	0.00711	0.00824	0.00767	0.00583	0.00755	0.00696	0.00638	0.00819	0.00670	0.00564	0.00520	0.00566	0.00660	0.00417
12-mag	0.00557	0.01097	0.01231	0.00759	0.00870	0.00558	0.00581	0.00630	0.00689	0.00575	0.00473	0.00510	0.01143	0.00343
19-mag	0.00275	0.00277	0.00402	0.00263	0.00366	0.00317	0.00368	0.00344	0.00288	0.00280	0.00219	0.00263	0.01076	0.00253
24-mag	0.01027	0.01083	0.01121	0.00973	0.01144	0.01060	0.01212	0.01302	0.01241	0.01045	0.00936	0.00967	0.01510	0.00699
26-mag	0.00195	0.00218	0.00304	0.00184	0.00292	0.00254	0.00297	0.00264	0.00223	0.00185	0.00156	0.00199	0.01114	0.00215
28-mag	0.02440	0.02711	0.02796	0.02930	0.03128	0.02894	0.02691	0.02459	0.02327	0.02466	0.02447	0.02293	0.02342	0.02172
30-apr	0.01730	0.01952	0.01907	0.01728	0.01708	0.01412	0.01360	0.01390	0.01158	0.00803	0.00491	0.00473	0.01537	0.00526
03-mag	0.00711	0.00800	0.00542	0.00382	0.00522	0.00467	0.00489	0.00511	0.00454	0.00408	0.00379	0.00430	0.01293	0.00546
05-mag	0.00574	0.00625	0.00710	0.00485	0.00408	0.00251	0.01134	0.00563	0.00261	0.00224	0.00168	0.00195	0.00654	0.00257
07-mag	0.00424	0.00465	0.00606	0.00494	0.00579	0.00570	0.00647	0.00691	0.00561	0.00472	0.00372	0.00352	0.01242	0.00252
09-mag	0.00224	0.00237	0.00327	0.00204	0.00218	0.00214	0.00277	0.00349	0.00313	0.00235	0.00197	0.00248	0.00833	0.00205
12-mag	0.00161	0.00483	0.00250	0.00159	0.00503	0.00240	0.00287	0.00370	0.00348	0.00246	0.00224	0.00261	0.00887	0.00254
14-mag	0.00202	0.00296	0.00578	0.00200	0.00269	0.00310	0.00251	0.00432	0.00257	0.00155	0.00141	0.00181	0.01100	0.00200
19-mag	0.01172	0.00245	0.00313	0.00256	0.00320	0.00259	0.00339	0.00503	0.00359	0.00317	0.00256	0.00278	0.01303	0.00321
24-mag	0.00237	0.00234	0.00262	0.00176	0.00295	0.00253	0.00247	0.00240	0.00309	0.00233	0.00202	0.00212	0.01273	0.00219
26-mag	0.00190	0.00203	0.00276	0.00162	0.00267	0.00145	0.00177	0.00176	0.00178	0.00135	0.00116	0.00176	0.01105	0.00169
28-mag	0.01911	0.01814	0.02140	0.02262	0.02451	0.02138	0.02363	0.02393	0.02448	0.02352	0.02072	0.02155	0.02350	0.02554

Allegati

HA	0,7 - 1,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00185	0.00214	0.00329	0.00295	0.00349	0.00291	0.00608	0.00314	0.00400	0.00314	0.00267	0.00260	0.01578	0.00241
05-mag	0.00334	0.00494	0.00564	0.00407	0.00408	0.00458	0.00467	0.00647	0.00655	0.00539	0.00486	0.00544	0.02570	0.00543
07-mag	0.00418	0.00469	0.00445	0.00353	0.00448	0.00415	0.00417	0.00466	0.00415	0.00406	0.00343	0.00390	0.00766	0.00289
12-mag	0.00461	0.00802	0.00887	0.00572	0.00593	0.00446	0.00473	0.00411	0.00544	0.00380	0.00310	0.00332	0.01670	0.00264
19-mag	0.00486	0.00499	0.00626	0.00554	0.00615	0.00611	0.00669	0.00590	0.00595	0.00562	0.00494	0.00509	0.01849	0.00499
24-mag	0.00644	0.00708	0.00726	0.00672	0.00831	0.00770	0.00933	0.00904	0.00939	0.00810	0.00685	0.00686	0.01615	0.00545
26-mag	0.00297	0.00303	0.00341	0.00298	0.00382	0.00312	0.00379	0.00316	0.00297	0.00260	0.00234	0.00287	0.01441	0.00292
28-mag	0.01006	0.01160	0.01199	0.01311	0.01482	0.01294	0.01182	0.00954	0.00910	0.00897	0.00857	0.00839	0.02053	0.00804
30-apr	0.00831	0.00908	0.00802	0.00637	0.00735	0.00553	0.00581	0.00482	0.00513	0.00330	0.00249	0.00270	0.01786	0.00251
03-mag	0.00354	0.00414	0.00369	0.00284	0.00346	0.00318	0.00427	0.00344	0.00369	0.00304	0.00265	0.00294	0.01759	0.00344
05-mag	0.00626	0.00616	0.00714	0.00577	0.00482	0.00371	0.01115	0.00555	0.00360	0.00307	0.00244	0.00261	0.00854	0.00303
07-mag	0.00299	0.00316	0.00352	0.00268	0.00307	0.00325	0.00400	0.00346	0.00374	0.00252	0.00206	0.00219	0.01868	0.00159
09-mag	0.00220	0.00244	0.00311	0.00207	0.00204	0.00235	0.00256	0.00267	0.00276	0.00217	0.00199	0.00216	0.01223	0.00201
12-mag	0.00142	0.00229	0.00185	0.00142	0.00452	0.00221	0.00331	0.00327	0.00327	0.00251	0.00222	0.00247	0.01300	0.00260
14-mag	0.00234	0.00291	0.00504	0.00243	0.00286	0.00334	0.00284	0.00333	0.00302	0.00184	0.00162	0.00231	0.01791	0.00254
19-mag	0.00724	0.00479	0.00512	0.00500	0.00540	0.00487	0.00578	0.00724	0.00567	0.00522	0.00487	0.00473	0.02118	0.00503
24-mag	0.00231	0.00209	0.00227	0.00175	0.00251	0.00228	0.00261	0.00229	0.00248	0.00215	0.00198	0.00198	0.01598	0.00198
26-mag	0.00242	0.00235	0.00291	0.00214	0.00345	0.00192	0.00260	0.00210	0.00196	0.00162	0.00179	0.00198	0.01460	0.00188
28-mag	0.00732	0.00743	0.00885	0.00918	0.01033	0.00906	0.01077	0.00995	0.01166	0.00976	0.00946	0.00998	0.01932	0.01159

Allegati

HA	1,0 - 2,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.01242	0.01299	0.02413	0.01687	0.02044	0.01614	0.05661	0.01840	0.02614	0.02096	0.01482	0.01445	0.08608	0.01274
05-mag	0.02052	0.02805	0.03092	0.02291	0.02463	0.02603	0.02967	0.04270	0.04912	0.04220	0.03535	0.03613	0.15251	0.02959
07-mag	0.01779	0.02030	0.02038	0.01695	0.02083	0.01863	0.02343	0.01889	0.01846	0.01978	0.01420	0.01724	0.03985	0.01350
12-mag	0.01994	0.02693	0.02880	0.02436	0.02366	0.02287	0.02447	0.01818	0.02691	0.01628	0.01293	0.01351	0.09468	0.01720
19-mag	0.05922	0.06069	0.07175	0.06696	0.07056	0.07012	0.07435	0.06940	0.06783	0.06674	0.06187	0.05731	0.13524	0.05945
24-mag	0.03264	0.03639	0.03479	0.03165	0.03641	0.02936	0.03508	0.03101	0.03099	0.03109	0.03286	0.02858	0.08463	0.02186
26-mag	0.03113	0.03035	0.03400	0.04295	0.03414	0.02863	0.03474	0.03295	0.02822	0.02589	0.02990	0.02836	0.08055	0.02962
28-mag	0.02663	0.03133	0.03313	0.02890	0.03218	0.02714	0.03804	0.02572	0.02499	0.02473	0.02173	0.02478	0.10175	0.02298
30-apr	0.03377	0.03557	0.03315	0.02614	0.03435	0.02487	0.03376	0.02641	0.03033	0.02323	0.02029	0.01970	0.10822	0.01719
03-mag	0.02003	0.02252	0.02532	0.02099	0.02424	0.02168	0.03303	0.02314	0.02644	0.02232	0.01868	0.02080	0.11369	0.02334
05-mag	0.03253	0.03409	0.04389	0.03898	0.03727	0.02774	0.02919	0.02785	0.02240	0.02001	0.01662	0.01689	0.04862	0.01964
07-mag	0.01504	0.01425	0.01673	0.01290	0.01378	0.01705	0.01931	0.01500	0.01975	0.01328	0.01069	0.01165	0.11519	0.00974
09-mag	0.01891	0.01756	0.01890	0.01726	0.01621	0.01611	0.01773	0.01763	0.02079	0.01790	0.01634	0.01646	0.08044	0.01537
12-mag	0.00814	0.01377	0.01091	0.00816	0.02104	0.01361	0.02630	0.01707	0.02457	0.01667	0.01532	0.01573	0.08687	0.01719
14-mag	0.01631	0.01899	0.02666	0.01782	0.01934	0.02201	0.02099	0.01972	0.02299	0.01426	0.01227	0.01633	0.11016	0.01806
19-mag	0.05899	0.05446	0.05731	0.05733	0.05770	0.05465	0.06107	0.06239	0.06190	0.05882	0.05689	0.05478	0.16089	0.05455
24-mag	0.01701	0.01613	0.01921	0.02014	0.02210	0.01782	0.02400	0.02136	0.02166	0.01885	0.03393	0.02213	0.11383	0.01745
26-mag	0.02495	0.02108	0.02543	0.02633	0.02649	0.01763	0.02386	0.02001	0.01845	0.01607	0.03432	0.01897	0.09721	0.01771
28-mag	0.02173	0.02652	0.02965	0.02495	0.03197	0.02805	0.03809	0.03176	0.05097	0.02980	0.02954	0.03147	0.09658	0.03591

Allegati

HA	2,0 - 3,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.03385	0.03626	0.07020	0.04859	0.06167	0.05144	0.18082	0.05959	0.08289	0.06339	0.04421	0.04319	0.22095	0.03718
05-mag	0.05630	0.07888	0.09061	0.06622	0.07516	0.08155	0.09752	0.12629	0.16027	0.12850	0.10725	0.10683	0.39690	0.08605
07-mag	0.04872	0.05616	0.05949	0.04816	0.06397	0.05803	0.07561	0.05785	0.05919	0.05835	0.04320	0.05098	0.10413	0.04049
12-mag	0.05444	0.07636	0.08391	0.07067	0.07106	0.07192	0.07839	0.05477	0.08716	0.04975	0.03881	0.04107	0.23755	0.04877
19-mag	0.16156	0.17082	0.21077	0.19343	0.21434	0.22083	0.23806	0.21589	0.22027	0.20214	0.18546	0.17298	0.35077	0.16854
24-mag	0.08996	0.10245	0.10279	0.09210	0.11195	0.09234	0.11189	0.09471	0.09761	0.09288	0.09989	0.08429	0.22208	0.06545
26-mag	0.08447	0.08473	0.09943	0.12279	0.10426	0.08956	0.11165	0.10143	0.09190	0.07707	0.09115	0.08446	0.20973	0.08305
28-mag	0.07273	0.08800	0.09711	0.08360	0.09731	0.08532	0.11697	0.07804	0.08244	0.07413	0.06686	0.07824	0.26808	0.06356
30-apr	0.09525	0.10136	0.09866	0.08005	0.10531	0.08013	0.11948	0.07914	0.09477	0.06905	0.05960	0.05916	0.25952	0.05276
03-mag	0.05688	0.06465	0.07427	0.06452	0.07438	0.07107	0.11668	0.07156	0.08077	0.06829	0.05545	0.06428	0.27138	0.06979
05-mag	0.09347	0.09879	0.12921	0.11862	0.11472	0.08611	0.10337	0.08476	0.07322	0.06133	0.04721	0.05232	0.11560	0.06006
07-mag	0.04309	0.04209	0.04865	0.03767	0.04241	0.05496	0.06904	0.04713	0.06283	0.03914	0.03140	0.03704	0.29341	0.02939
09-mag	0.05350	0.05027	0.05450	0.05259	0.05036	0.05269	0.06217	0.05366	0.06297	0.05410	0.04852	0.04991	0.17942	0.04845
12-mag	0.02307	0.04104	0.03089	0.02482	0.06374	0.04317	0.09036	0.05350	0.07298	0.05073	0.04559	0.05086	0.21341	0.05273
14-mag	0.04704	0.05542	0.07629	0.05325	0.05830	0.07235	0.07585	0.05975	0.07020	0.04204	0.03707	0.05119	0.27309	0.05504
19-mag	0.16531	0.16028	0.16445	0.16811	0.17917	0.16816	0.21104	0.18942	0.18762	0.17618	0.17295	0.16646	0.39400	0.17077
24-mag	0.04817	0.04769	0.05587	0.06114	0.06756	0.05561	0.08412	0.06593	0.06713	0.05501	0.10438	0.07088	0.27189	0.05073
26-mag	0.07065	0.06000	0.07497	0.08033	0.07977	0.05655	0.08189	0.05959	0.05747	0.04836	0.10038	0.05859	0.23529	0.05351
28-mag	0.06179	0.07623	0.08685	0.07453	0.10021	0.08936	0.13369	0.09676	0.16301	0.09000	0.08339	0.09532	0.22612	0.11022

Allegati

HA	3,0 - 5,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.05324	0.05762	0.11193	0.07732	0.09962	0.08636	0.32140	0.09369	0.12201	0.09403	0.06293	0.07494	0.28596	0.05859
05-mag	0.09337	0.12392	0.14604	0.10021	0.11968	0.13950	0.18165	0.20036	0.24299	0.18703	0.17106	0.18310	0.56373	0.13316
07-mag	0.07735	0.08639	0.09642	0.07369	0.09889	0.09958	0.14513	0.09631	0.09084	0.09061	0.06683	0.08536	0.13984	0.06006
12-mag	0.08751	0.12285	0.12706	0.11280	0.11514	0.11994	0.14653	0.09259	0.14250	0.07181	0.05855	0.07078	0.33856	0.07224
19-mag	0.26786	0.26785	0.32643	0.29708	0.33493	0.37528	0.42484	0.33741	0.35494	0.29457	0.29749	0.28381	0.49782	0.27532
24-mag	0.14626	0.16309	0.16331	0.14748	0.16663	0.15494	0.20438	0.14891	0.16298	0.13982	0.15366	0.15229	0.32900	0.09898
26-mag	0.13547	0.13336	0.15919	0.19004	0.16788	0.15227	0.21621	0.16944	0.15195	0.12046	0.12921	0.14446	0.30331	0.14065
28-mag	0.11867	0.13505	0.15697	0.13260	0.15560	0.14479	0.21978	0.13947	0.12982	0.11086	0.10390	0.14242	0.38484	0.09714
30-apr	0.15368	0.17823	0.17232	0.14570	0.19488	0.14762	0.24174	0.16225	0.17187	0.12494	0.11615	0.10846	0.31515	0.10371
03-mag	0.09848	0.10237	0.13884	0.11472	0.14145	0.12842	0.21992	0.14277	0.14811	0.12511	0.08777	0.10659	0.41896	0.12929
05-mag	0.16102	0.15733	0.22108	0.24015	0.20845	0.16040	0.20613	0.17131	0.12711	0.10611	0.08706	0.08722	0.15366	0.10684
07-mag	0.07351	0.07134	0.08945	0.07380	0.08098	0.09532	0.13121	0.09622	0.11497	0.06167	0.05402	0.06837	0.36079	0.05440
09-mag	0.09335	0.08212	0.09666	0.10204	0.09542	0.09981	0.12429	0.10374	0.11738	0.09661	0.08172	0.08560	0.21584	0.09240
12-mag	0.03924	0.07699	0.05640	0.04518	0.11766	0.08382	0.17225	0.10376	0.13664	0.09196	0.07110	0.09583	0.29203	0.09386
14-mag	0.07868	0.09100	0.13703	0.10485	0.10519	0.13345	0.14612	0.12368	0.12857	0.07373	0.06753	0.08169	0.38743	0.10164
19-mag	0.29237	0.28678	0.30333	0.31793	0.32903	0.33095	0.43108	0.34917	0.32859	0.28397	0.30120	0.29675	0.50704	0.31653
24-mag	0.08265	0.08342	0.10019	0.12642	0.13019	0.10749	0.16186	0.13138	0.12123	0.10350	0.21102	0.12817	0.35948	0.09361
26-mag	0.11559	0.10679	0.13699	0.15557	0.15749	0.09919	0.17459	0.11662	0.09894	0.08730	0.16619	0.10427	0.29336	0.09546
28-mag	0.10697	0.14204	0.15716	0.15108	0.17699	0.17237	0.27744	0.17872	0.28483	0.15665	0.15554	0.17326	0.27521	0.21025

Allegati

HA	5,0 - 10													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.09269	0.09242	0.17299	0.15384	0.18841	0.15122	0.59316	0.12760	0.21494	0.16724	0.11752	0.12589	0.51483	0.10156
05-mag	0.16008	0.20060	0.23032	0.17017	0.22970	0.23292	0.31657	0.30458	0.45213	0.28842	0.28958	0.33268	0.85523	0.18330
07-mag	0.12199	0.14067	0.15041	0.12805	0.19618	0.16790	0.26427	0.15680	0.17295	0.15198	0.10078	0.15267	0.23152	0.09715
12-mag	0.14273	0.19931	0.21154	0.20903	0.20460	0.20524	0.30217	0.13760	0.24185	0.12127	0.08980	0.11825	0.55935	0.12545
19-mag	0.42914	0.43017	0.53846	0.51894	0.57966	0.66830	0.75519	0.54101	0.55319	0.48231	0.41397	0.55936	0.79943	0.45971
24-mag	0.22780	0.27520	0.27909	0.22757	0.29024	0.26627	0.39503	0.25478	0.25827	0.22593	0.24855	0.24406	0.45960	0.14582
26-mag	0.21074	0.21882	0.24684	0.32744	0.28224	0.26602	0.35727	0.26706	0.26055	0.17925	0.22562	0.23838	0.46411	0.24487
28-mag	0.19426	0.21521	0.27986	0.19462	0.29626	0.24394	0.43408	0.19791	0.20485	0.19583	0.16214	0.24435	0.59758	0.19653
30-apr	0.31053	0.35514	0.33756	0.32152	0.37698	0.33658	0.46594	0.31760	0.42537	0.27088	0.20692	0.26277	0.47792	0.22130
03-mag	0.17653	0.24444	0.29005	0.27601	0.29689	0.31429	0.40612	0.29339	0.36648	0.24109	0.22182	0.29222	0.37940	0.24647
05-mag	0.32397	0.32306	0.42431	0.52847	0.44487	0.34565	0.43974	0.37370	0.31901	0.20635	0.17574	0.22716	0.23028	0.26771
07-mag	0.13820	0.13200	0.17104	0.15633	0.15057	0.25245	0.24967	0.17305	0.28758	0.15816	0.12820	0.15799	0.51522	0.10646
09-mag	0.18589	0.18242	0.18344	0.21806	0.20269	0.20921	0.19736	0.22616	0.27240	0.17972	0.19357	0.21467	0.39935	0.19146
12-mag	0.06973	0.13686	0.11339	0.10718	0.23704	0.18113	0.32415	0.21524	0.33964	0.16159	0.16151	0.20622	0.42857	0.20346
14-mag	0.14791	0.20284	0.24766	0.20713	0.21197	0.29932	0.26679	0.24502	0.29521	0.15347	0.12942	0.20692	0.51896	0.21870
19-mag	0.53105	0.45679	0.59117	0.70849	0.68473	0.74903	0.71375	0.76837	0.78607	0.60589	0.74655	0.70358	0.82263	0.68392
24-mag	0.16656	0.13923	0.19557	0.22746	0.21992	0.22527	0.29133	0.27843	0.29125	0.16755	0.35074	0.29250	0.56548	0.20623
26-mag	0.21746	0.20496	0.24760	0.35926	0.28853	0.21153	0.22483	0.23341	0.23963	0.17482	0.45532	0.25176	0.53766	0.22362
28-mag	0.19312	0.27549	0.31179	0.34387	0.38364	0.38740	0.60223	0.36927	0.70836	0.33039	0.24944	0.39400	0.39053	0.44585

Allegati

TB	0,3 - 0,5													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00018	0.00027	0.00036	0.00042	0.00057	0.00064	0.00076	0.00075	0.00083	0.00086	0.00076	0.00071	0.00064	0.00067
05-mag	0.00042	0.00062	0.00067	0.00052	0.00055	0.00063	0.00060	0.00092	0.00072	0.00064	0.00064	0.00067	0.00072	0.00050
07-mag	0.00088	0.00102	0.00099	0.00085	0.00099	0.00095	0.00093	0.00109	0.00099	0.00085	0.00083	0.00086	0.00057	0.00077
12-mag	0.00039	0.00066	0.00076	0.00060	0.00071	0.00052	0.00055	0.00062	0.00060	0.00056	0.00046	0.00052	0.00046	0.00039
19-mag	0.00040	0.00042	0.00053	0.00034	0.00044	0.00037	0.00043	0.00045	0.00037	0.00038	0.00032	0.00036	0.00043	0.00039
24-mag	0.00078	0.00082	0.00090	0.00074	0.00085	0.00078	0.00086	0.00098	0.00093	0.00082	0.00078	0.00076	0.00066	0.00062
26-mag	0.00030	0.00032	0.00039	0.00030	0.00037	0.00038	0.00040	0.00042	0.00036	0.00031	0.00029	0.00034	0.00041	0.00035
28-mag	0.00146	0.00157	0.00160	0.00157	0.00163	0.00153	0.00152	0.00148	0.00141	0.00151	0.00151	0.00148	0.00111	0.00149
30-apr	0.00128	0.00140	0.00144	0.00135	0.00136	0.00131	0.00128	0.00147	0.00121	0.00106	0.00085	0.00083	0.00097	0.00085
03-mag	0.00072	0.00079	0.00064	0.00048	0.00063	0.00058	0.00055	0.00064	0.00053	0.00050	0.00047	0.00051	0.00058	0.00059
05-mag	0.00041	0.00049	0.00061	0.00043	0.00037	0.00025	0.00040	0.00053	0.00021	0.00020	0.00014	0.00016	0.00033	0.00024
07-mag	0.00083	0.00093	0.00120	0.00114	0.00123	0.00117	0.00124	0.00127	0.00103	0.00095	0.00081	0.00073	0.00067	0.00066
09-mag	0.00047	0.00045	0.00051	0.00043	0.00045	0.00041	0.00049	0.00060	0.00059	0.00048	0.00044	0.00049	0.00047	0.00045
12-mag	0.00018	0.00041	0.00029	0.00017	0.00053	0.00028	0.00032	0.00041	0.00038	0.00031	0.00028	0.00030	0.00039	0.00031
14-mag	0.00030	0.00040	0.00052	0.00032	0.00039	0.00044	0.00033	0.00052	0.00033	0.00025	0.00024	0.00026	0.00038	0.00032
19-mag	0.00078	0.00036	0.00042	0.00038	0.00044	0.00042	0.00054	0.00064	0.00058	0.00060	0.00051	0.00058	0.00052	0.00062
24-mag	0.00036	0.00038	0.00041	0.00031	0.00042	0.00039	0.00037	0.00041	0.00042	0.00035	0.00033	0.00033	0.00052	0.00034
26-mag	0.00033	0.00032	0.00042	0.00026	0.00034	0.00025	0.00026	0.00031	0.00028	0.00022	0.00020	0.00028	0.00039	0.00028
28-mag	0.00137	0.00134	0.00152	0.00148	0.00159	0.00144	0.00154	0.00162	0.00161	0.00154	0.00136	0.00138	0.00117	0.00165

Allegati

TB	0,5 - 0,7													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00016	0.00023	0.00030	0.00029	0.00038	0.00040	0.00059	0.00047	0.00053	0.00052	0.00047	0.00044	0.00095	0.00043
05-mag	0.00033	0.00048	0.00053	0.00041	0.00044	0.00051	0.00047	0.00075	0.00057	0.00047	0.00050	0.00057	0.00136	0.00047
07-mag	0.00054	0.00063	0.00059	0.00044	0.00058	0.00053	0.00049	0.00062	0.00051	0.00043	0.00040	0.00043	0.00050	0.00032
12-mag	0.00042	0.00084	0.00094	0.00058	0.00066	0.00043	0.00044	0.00048	0.00053	0.00044	0.00036	0.00039	0.00087	0.00026
19-mag	0.00021	0.00021	0.00031	0.00020	0.00028	0.00024	0.00028	0.00026	0.00022	0.00021	0.00017	0.00020	0.00082	0.00019
24-mag	0.00078	0.00083	0.00085	0.00074	0.00087	0.00081	0.00092	0.00099	0.00095	0.00080	0.00071	0.00074	0.00115	0.00053
26-mag	0.00015	0.00017	0.00023	0.00014	0.00022	0.00019	0.00023	0.00020	0.00017	0.00014	0.00012	0.00015	0.00085	0.00016
28-mag	0.00186	0.00207	0.00213	0.00223	0.00239	0.00221	0.00205	0.00188	0.00177	0.00188	0.00187	0.00175	0.00179	0.00166
30-apr	0.00132	0.00149	0.00145	0.00132	0.00130	0.00108	0.00104	0.00106	0.00088	0.00061	0.00037	0.00036	0.00117	0.00040
03-mag	0.00054	0.00061	0.00041	0.00029	0.00040	0.00036	0.00037	0.00039	0.00035	0.00031	0.00029	0.00033	0.00099	0.00042
05-mag	0.00044	0.00048	0.00054	0.00037	0.00031	0.00019	0.00086	0.00043	0.00020	0.00017	0.00013	0.00015	0.00050	0.00020
07-mag	0.00032	0.00035	0.00046	0.00038	0.00044	0.00043	0.00049	0.00053	0.00043	0.00036	0.00028	0.00027	0.00095	0.00019
09-mag	0.00017	0.00018	0.00025	0.00016	0.00017	0.00016	0.00021	0.00027	0.00024	0.00018	0.00015	0.00019	0.00064	0.00016
12-mag	0.00012	0.00037	0.00019	0.00012	0.00038	0.00018	0.00022	0.00028	0.00027	0.00019	0.00017	0.00020	0.00068	0.00019
14-mag	0.00015	0.00023	0.00044	0.00015	0.00021	0.00024	0.00019	0.00033	0.00020	0.00012	0.00011	0.00014	0.00084	0.00015
19-mag	0.00089	0.00019	0.00024	0.00020	0.00024	0.00020	0.00026	0.00038	0.00027	0.00024	0.00020	0.00021	0.00099	0.00024
24-mag	0.00018	0.00018	0.00020	0.00013	0.00022	0.00019	0.00019	0.00018	0.00024	0.00018	0.00015	0.00016	0.00097	0.00017
26-mag	0.00014	0.00015	0.00021	0.00012	0.00020	0.00011	0.00013	0.00013	0.00014	0.00010	0.00009	0.00013	0.00084	0.00013
28-mag	0.00146	0.00138	0.00163	0.00173	0.00187	0.00163	0.00180	0.00182	0.00187	0.00179	0.00158	0.00164	0.00179	0.00195

Allegati

TB	0,7 - 1,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00017	0.00019	0.00030	0.00027	0.00031	0.00026	0.00055	0.00028	0.00036	0.00028	0.00024	0.00023	0.00142	0.00022
05-mag	0.00030	0.00044	0.00051	0.00037	0.00037	0.00041	0.00042	0.00058	0.00059	0.00048	0.00044	0.00049	0.00231	0.00049
07-mag	0.00038	0.00042	0.00040	0.00032	0.00040	0.00037	0.00037	0.00042	0.00037	0.00036	0.00031	0.00035	0.00069	0.00026
12-mag	0.00041	0.00072	0.00080	0.00051	0.00053	0.00040	0.00042	0.00037	0.00049	0.00034	0.00028	0.00030	0.00150	0.00024
19-mag	0.00044	0.00045	0.00056	0.00050	0.00055	0.00055	0.00060	0.00053	0.00053	0.00050	0.00044	0.00046	0.00166	0.00045
24-mag	0.00058	0.00064	0.00065	0.00060	0.00075	0.00069	0.00084	0.00081	0.00084	0.00073	0.00061	0.00062	0.00145	0.00049
26-mag	0.00027	0.00027	0.00031	0.00027	0.00034	0.00028	0.00034	0.00028	0.00027	0.00023	0.00021	0.00026	0.00129	0.00026
28-mag	0.00090	0.00104	0.00108	0.00118	0.00133	0.00116	0.00106	0.00086	0.00082	0.00081	0.00077	0.00075	0.00184	0.00072
30-apr	0.00075	0.00082	0.00072	0.00057	0.00066	0.00050	0.00052	0.00043	0.00046	0.00030	0.00022	0.00024	0.00160	0.00023
03-mag	0.00032	0.00037	0.00033	0.00025	0.00031	0.00029	0.00038	0.00031	0.00033	0.00027	0.00024	0.00026	0.00158	0.00031
05-mag	0.00056	0.00055	0.00064	0.00052	0.00043	0.00033	0.00100	0.00050	0.00032	0.00028	0.00022	0.00023	0.00077	0.00027
07-mag	0.00027	0.00028	0.00032	0.00024	0.00028	0.00029	0.00036	0.00031	0.00034	0.00023	0.00018	0.00020	0.00168	0.00014
09-mag	0.00020	0.00022	0.00028	0.00019	0.00018	0.00021	0.00023	0.00024	0.00025	0.00020	0.00018	0.00019	0.00110	0.00018
12-mag	0.00013	0.00021	0.00017	0.00013	0.00041	0.00020	0.00030	0.00029	0.00029	0.00023	0.00020	0.00022	0.00117	0.00023
14-mag	0.00021	0.00026	0.00045	0.00022	0.00026	0.00030	0.00025	0.00030	0.00027	0.00017	0.00015	0.00021	0.00161	0.00023
19-mag	0.00065	0.00043	0.00046	0.00045	0.00048	0.00044	0.00052	0.00065	0.00051	0.00047	0.00044	0.00043	0.00190	0.00045
24-mag	0.00021	0.00019	0.00020	0.00016	0.00023	0.00020	0.00023	0.00021	0.00022	0.00019	0.00018	0.00018	0.00143	0.00018
26-mag	0.00022	0.00021	0.00026	0.00019	0.00031	0.00017	0.00023	0.00019	0.00018	0.00015	0.00016	0.00018	0.00131	0.00017
28-mag	0.00066	0.00067	0.00080	0.00082	0.00093	0.00081	0.00097	0.00089	0.00105	0.00088	0.00085	0.00090	0.00174	0.00104

Allegati

TB	1,0 - 2,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00124	0.00129	0.00240	0.00168	0.00203	0.00161	0.00564	0.00183	0.00260	0.00209	0.00148	0.00144	0.00857	0.00127
05-mag	0.00204	0.00279	0.00308	0.00228	0.00245	0.00259	0.00295	0.00425	0.00489	0.00420	0.00352	0.00360	0.01518	0.00295
07-mag	0.00177	0.00202	0.00203	0.00169	0.00207	0.00186	0.00233	0.00188	0.00184	0.00197	0.00141	0.00172	0.00397	0.00134
12-mag	0.00198	0.00268	0.00287	0.00243	0.00236	0.00228	0.00244	0.00181	0.00268	0.00162	0.00129	0.00135	0.00943	0.00171
19-mag	0.00590	0.00604	0.00714	0.00667	0.00702	0.00698	0.00740	0.00691	0.00675	0.00665	0.00616	0.00571	0.01347	0.00592
24-mag	0.00325	0.00362	0.00346	0.00315	0.00362	0.00292	0.00349	0.00309	0.00309	0.00310	0.00327	0.00285	0.00843	0.00218
26-mag	0.00310	0.00302	0.00338	0.00428	0.00340	0.00285	0.00346	0.00328	0.00281	0.00258	0.00298	0.00282	0.00802	0.00295
28-mag	0.00265	0.00312	0.00330	0.00288	0.00320	0.00270	0.00379	0.00256	0.00249	0.00246	0.00216	0.00247	0.01013	0.00229
30-apr	0.00336	0.00354	0.00330	0.00260	0.00342	0.00248	0.00336	0.00263	0.00302	0.00231	0.00202	0.00196	0.01078	0.00171
03-mag	0.00199	0.00224	0.00252	0.00209	0.00241	0.00216	0.00329	0.00230	0.00263	0.00222	0.00186	0.00207	0.01132	0.00232
05-mag	0.00324	0.00339	0.00437	0.00388	0.00371	0.00276	0.00291	0.00277	0.00223	0.00199	0.00166	0.00168	0.00484	0.00196
07-mag	0.00150	0.00142	0.00167	0.00128	0.00137	0.00170	0.00192	0.00149	0.00197	0.00132	0.00106	0.00116	0.01147	0.00097
09-mag	0.00188	0.00175	0.00188	0.00172	0.00161	0.00160	0.00177	0.00175	0.00207	0.00178	0.00163	0.00164	0.00801	0.00153
12-mag	0.00081	0.00137	0.00109	0.00081	0.00209	0.00136	0.00262	0.00170	0.00245	0.00166	0.00153	0.00157	0.00865	0.00171
14-mag	0.00162	0.00189	0.00265	0.00177	0.00193	0.00219	0.00209	0.00196	0.00229	0.00142	0.00122	0.00163	0.01097	0.00180
19-mag	0.00587	0.00542	0.00571	0.00571	0.00574	0.00544	0.00608	0.00621	0.00616	0.00586	0.00566	0.00545	0.01602	0.00543
24-mag	0.00169	0.00161	0.00191	0.00201	0.00220	0.00177	0.00239	0.00213	0.00216	0.00188	0.00338	0.00220	0.01133	0.00174
26-mag	0.00248	0.00210	0.00253	0.00262	0.00264	0.00176	0.00238	0.00199	0.00184	0.00160	0.00342	0.00189	0.00968	0.00176
28-mag	0.00216	0.00264	0.00295	0.00248	0.00318	0.00279	0.00379	0.00316	0.00508	0.00297	0.00294	0.00313	0.00962	0.00358

Allegati

TB	2,0 - 3,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00301	0.00322	0.00623	0.00431	0.00548	0.00457	0.01606	0.00529	0.00736	0.00563	0.00393	0.00384	0.01962	0.00330
05-mag	0.00500	0.00700	0.00805	0.00588	0.00667	0.00724	0.00866	0.01122	0.01423	0.01141	0.00952	0.00949	0.03525	0.00764
07-mag	0.00433	0.00499	0.00528	0.00428	0.00568	0.00515	0.00671	0.00514	0.00526	0.00518	0.00384	0.00453	0.00925	0.00360
12-mag	0.00483	0.00678	0.00745	0.00628	0.00631	0.00639	0.00696	0.00486	0.00774	0.00442	0.00345	0.00365	0.02110	0.00433
19-mag	0.01435	0.01517	0.01872	0.01718	0.01903	0.01961	0.02114	0.01917	0.01956	0.01795	0.01647	0.01536	0.03115	0.01497
24-mag	0.00799	0.00910	0.00913	0.00818	0.00994	0.00820	0.00994	0.00841	0.00867	0.00825	0.00887	0.00749	0.01972	0.00581
26-mag	0.00750	0.00752	0.00883	0.01090	0.00926	0.00795	0.00992	0.00901	0.00816	0.00684	0.00809	0.00750	0.01862	0.00738
28-mag	0.00646	0.00781	0.00862	0.00742	0.00864	0.00758	0.01039	0.00693	0.00732	0.00658	0.00594	0.00695	0.02381	0.00564
30-apr	0.00846	0.00900	0.00876	0.00711	0.00935	0.00712	0.01061	0.00703	0.00842	0.00613	0.00529	0.00525	0.02305	0.00469
03-mag	0.00505	0.00574	0.00660	0.00573	0.00661	0.00631	0.01036	0.00636	0.00717	0.00606	0.00492	0.00571	0.02410	0.00620
05-mag	0.00830	0.00877	0.01147	0.01053	0.01019	0.00765	0.00918	0.00753	0.00650	0.00545	0.00419	0.00465	0.01027	0.00533
07-mag	0.00383	0.00374	0.00432	0.00335	0.00377	0.00488	0.00613	0.00419	0.00558	0.00348	0.00279	0.00329	0.02606	0.00261
09-mag	0.00475	0.00446	0.00484	0.00467	0.00447	0.00468	0.00552	0.00477	0.00559	0.00480	0.00431	0.00443	0.01593	0.00430
12-mag	0.00205	0.00364	0.00274	0.00220	0.00566	0.00383	0.00802	0.00475	0.00648	0.00450	0.00405	0.00452	0.01895	0.00468
14-mag	0.00418	0.00492	0.00678	0.00473	0.00518	0.00643	0.00674	0.00531	0.00623	0.00373	0.00329	0.00455	0.02425	0.00489
19-mag	0.01468	0.01423	0.01460	0.01493	0.01591	0.01493	0.01874	0.01682	0.01666	0.01564	0.01536	0.01478	0.03499	0.01517
24-mag	0.00428	0.00423	0.00496	0.00543	0.00600	0.00494	0.00747	0.00585	0.00596	0.00488	0.00927	0.00629	0.02414	0.00450
26-mag	0.00627	0.00533	0.00666	0.00713	0.00708	0.00502	0.00727	0.00529	0.00510	0.00429	0.00891	0.00520	0.02089	0.00475
28-mag	0.00549	0.00677	0.00771	0.00662	0.00890	0.00794	0.01187	0.00859	0.01448	0.00799	0.00741	0.00846	0.02008	0.00979

Allegati

TB	3,0 - 5,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00352	0.00382	0.00741	0.00512	0.00660	0.00572	0.02128	0.00620	0.00808	0.00623	0.00417	0.00496	0.01893	0.00388
05-mag	0.00618	0.00820	0.00967	0.00663	0.00792	0.00924	0.01203	0.01326	0.01609	0.01238	0.01133	0.01212	0.03732	0.00882
07-mag	0.00512	0.00572	0.00638	0.00488	0.00655	0.00659	0.00961	0.00638	0.00601	0.00600	0.00442	0.00565	0.00926	0.00398
12-mag	0.00579	0.00813	0.00841	0.00747	0.00762	0.00794	0.00970	0.00613	0.00943	0.00475	0.00388	0.00469	0.02241	0.00478
19-mag	0.01773	0.01773	0.02161	0.01967	0.02217	0.02485	0.02813	0.02234	0.02350	0.01950	0.01970	0.01879	0.03296	0.01823
24-mag	0.00968	0.01080	0.01081	0.00976	0.01103	0.01026	0.01353	0.00986	0.01079	0.00926	0.01017	0.01008	0.02178	0.00655
26-mag	0.00897	0.00883	0.01054	0.01258	0.01111	0.01008	0.01431	0.01122	0.01006	0.00798	0.00855	0.00956	0.02008	0.00931
28-mag	0.00786	0.00894	0.01039	0.00878	0.01030	0.00959	0.01455	0.00923	0.00860	0.00734	0.00688	0.00943	0.02548	0.00643
30-apr	0.01017	0.01180	0.01141	0.00965	0.01290	0.00977	0.01600	0.01074	0.01138	0.00827	0.00769	0.00718	0.02086	0.00687
03-mag	0.00652	0.00678	0.00919	0.00759	0.00936	0.00850	0.01456	0.00945	0.00981	0.00828	0.00581	0.00706	0.02774	0.00856
05-mag	0.01066	0.01042	0.01464	0.01590	0.01380	0.01062	0.01365	0.01134	0.00842	0.00703	0.00576	0.00577	0.01017	0.00707
07-mag	0.00487	0.00472	0.00592	0.00489	0.00536	0.00631	0.00869	0.00637	0.00761	0.00408	0.00358	0.00453	0.02389	0.00360
09-mag	0.00618	0.00544	0.00640	0.00676	0.00632	0.00661	0.00823	0.00687	0.00777	0.00640	0.00541	0.00567	0.01429	0.00612
12-mag	0.00260	0.00510	0.00373	0.00299	0.00779	0.00555	0.01140	0.00687	0.00905	0.00609	0.00471	0.00634	0.01933	0.00621
14-mag	0.00521	0.00602	0.00907	0.00694	0.00696	0.00884	0.00967	0.00819	0.00851	0.00488	0.00447	0.00541	0.02565	0.00673
19-mag	0.01936	0.01899	0.02008	0.02105	0.02178	0.02191	0.02854	0.02312	0.02175	0.01880	0.01994	0.01965	0.03357	0.02096
24-mag	0.00547	0.00552	0.00663	0.00837	0.00862	0.00712	0.01072	0.00870	0.00803	0.00685	0.01397	0.00849	0.02380	0.00620
26-mag	0.00765	0.00707	0.00907	0.01030	0.01043	0.00657	0.01156	0.00772	0.00655	0.00578	0.01100	0.00690	0.01942	0.00632
28-mag	0.00708	0.00940	0.01040	0.01000	0.01172	0.01141	0.01837	0.01183	0.01886	0.01037	0.01030	0.01147	0.01822	0.01392

Allegati

TB	5,0 - 10													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00289	0.00289	0.00540	0.00480	0.00588	0.00472	0.01852	0.00398	0.00671	0.00522	0.00367	0.00393	0.01608	0.00317
05-mag	0.00500	0.00626	0.00719	0.00531	0.00717	0.00727	0.00989	0.00951	0.01412	0.00901	0.00904	0.01039	0.02671	0.00572
07-mag	0.00381	0.00439	0.00470	0.00400	0.00613	0.00524	0.00825	0.00490	0.00540	0.00475	0.00315	0.00477	0.00723	0.00303
12-mag	0.00446	0.00622	0.00661	0.00653	0.00639	0.00641	0.00944	0.00430	0.00755	0.00379	0.00280	0.00369	0.01747	0.00392
19-mag	0.01340	0.01343	0.01681	0.01620	0.01810	0.02087	0.02358	0.01689	0.01727	0.01506	0.01293	0.01747	0.02496	0.01436
24-mag	0.00711	0.00859	0.00872	0.00711	0.00906	0.00831	0.01234	0.00796	0.00806	0.00706	0.00776	0.00762	0.01435	0.00455
26-mag	0.00658	0.00683	0.00771	0.01022	0.00881	0.00831	0.01116	0.00834	0.00814	0.00560	0.00705	0.00744	0.01449	0.00765
28-mag	0.00607	0.00672	0.00874	0.00608	0.00925	0.00762	0.01356	0.00618	0.00640	0.00612	0.00506	0.00763	0.01866	0.00614
30-apr	0.00970	0.01109	0.01054	0.01004	0.01177	0.01051	0.01455	0.00992	0.01328	0.00846	0.00646	0.00821	0.01492	0.00691
03-mag	0.00551	0.00763	0.00906	0.00862	0.00927	0.00981	0.01268	0.00916	0.01144	0.00753	0.00693	0.00913	0.01185	0.00770
05-mag	0.01012	0.01009	0.01325	0.01650	0.01389	0.01079	0.01373	0.01167	0.00996	0.00644	0.00549	0.00709	0.00719	0.00836
07-mag	0.00432	0.00412	0.00534	0.00488	0.00470	0.00788	0.00780	0.00540	0.00898	0.00494	0.00400	0.00493	0.01609	0.00332
09-mag	0.00580	0.00570	0.00573	0.00681	0.00633	0.00653	0.00616	0.00706	0.00851	0.00561	0.00604	0.00670	0.01247	0.00598
12-mag	0.00218	0.00427	0.00354	0.00335	0.00740	0.00566	0.01012	0.00672	0.01061	0.00505	0.00504	0.00644	0.01338	0.00635
14-mag	0.00462	0.00633	0.00773	0.00647	0.00662	0.00935	0.00833	0.00765	0.00922	0.00479	0.00404	0.00646	0.01621	0.00683
19-mag	0.01658	0.01426	0.01846	0.02212	0.02138	0.02339	0.02229	0.02399	0.02455	0.01892	0.02331	0.02197	0.02569	0.02136
24-mag	0.00520	0.00435	0.00611	0.00710	0.00687	0.00703	0.00910	0.00869	0.00909	0.00523	0.01095	0.00913	0.01766	0.00644
26-mag	0.00679	0.00640	0.00773	0.01122	0.00901	0.00661	0.00702	0.00729	0.00748	0.00546	0.01422	0.00786	0.01679	0.00698
28-mag	0.00603	0.00860	0.00974	0.01074	0.01198	0.01210	0.01881	0.01153	0.02212	0.01032	0.00779	0.01230	0.01219	0.01392

Allegati

AL	0,3 - 0,5													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00240	0.00372	0.00485	0.00567	0.00777	0.00871	0.01034	0.01024	0.01123	0.01171	0.01033	0.00967	0.00875	0.00912
05-mag	0.00568	0.00848	0.00909	0.00711	0.00748	0.00860	0.00815	0.01246	0.00982	0.00869	0.00872	0.00916	0.00973	0.00679
07-mag	0.01192	0.01386	0.01351	0.01156	0.01350	0.01293	0.01263	0.01477	0.01342	0.01158	0.01124	0.01166	0.00775	0.01041
12-mag	0.00524	0.00893	0.01040	0.00817	0.00964	0.00711	0.00743	0.00843	0.00822	0.00755	0.00627	0.00710	0.00622	0.00532
19-mag	0.00541	0.00566	0.00716	0.00460	0.00596	0.00505	0.00578	0.00612	0.00509	0.00511	0.00432	0.00494	0.00586	0.00525
24-mag	0.01064	0.01115	0.01222	0.01012	0.01154	0.01055	0.01168	0.01334	0.01260	0.01122	0.01060	0.01030	0.00903	0.00848
26-mag	0.00401	0.00439	0.00535	0.00402	0.00506	0.00522	0.00538	0.00571	0.00484	0.00420	0.00397	0.00467	0.00552	0.00472
28-mag	0.01985	0.02131	0.02170	0.02136	0.02221	0.02076	0.02066	0.02018	0.01919	0.02057	0.02054	0.02015	0.01506	0.02028
30-apr	0.01737	0.01909	0.01954	0.01830	0.01855	0.01787	0.01743	0.01993	0.01639	0.01444	0.01152	0.01129	0.01314	0.01154
03-mag	0.00982	0.01080	0.00877	0.00655	0.00854	0.00789	0.00753	0.00870	0.00726	0.00683	0.00636	0.00689	0.00790	0.00809
05-mag	0.00563	0.00662	0.00832	0.00580	0.00508	0.00336	0.00549	0.00727	0.00284	0.00266	0.00188	0.00220	0.00446	0.00329
07-mag	0.01128	0.01268	0.01626	0.01544	0.01667	0.01589	0.01683	0.01722	0.01405	0.01298	0.01097	0.00995	0.00908	0.00899
09-mag	0.00639	0.00606	0.00688	0.00591	0.00614	0.00561	0.00663	0.00819	0.00798	0.00659	0.00603	0.00668	0.00636	0.00610
12-mag	0.00251	0.00560	0.00389	0.00234	0.00727	0.00385	0.00432	0.00561	0.00523	0.00423	0.00387	0.00411	0.00526	0.00420
14-mag	0.00402	0.00538	0.00702	0.00433	0.00529	0.00599	0.00448	0.00708	0.00454	0.00346	0.00330	0.00354	0.00521	0.00440
19-mag	0.01059	0.00486	0.00574	0.00514	0.00604	0.00566	0.00732	0.00875	0.00787	0.00814	0.00690	0.00788	0.00709	0.00839
24-mag	0.00494	0.00513	0.00553	0.00419	0.00574	0.00529	0.00504	0.00552	0.00570	0.00480	0.00451	0.00450	0.00701	0.00462
26-mag	0.00443	0.00433	0.00575	0.00350	0.00458	0.00337	0.00352	0.00416	0.00378	0.00301	0.00275	0.00381	0.00532	0.00385
28-mag	0.01863	0.01827	0.02070	0.02009	0.02157	0.01961	0.02096	0.02203	0.02187	0.02097	0.01847	0.01883	0.01596	0.02245

Allegati

AL	0,5 - 0,7													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00147	0.00214	0.00280	0.00275	0.00358	0.00371	0.00552	0.00438	0.00490	0.00480	0.00441	0.00412	0.00887	0.00400
05-mag	0.00306	0.00452	0.00496	0.00381	0.00414	0.00472	0.00434	0.00699	0.00529	0.00441	0.00464	0.00532	0.01271	0.00437
07-mag	0.00506	0.00586	0.00546	0.00415	0.00537	0.00495	0.00453	0.00582	0.00477	0.00401	0.00370	0.00402	0.00470	0.00297
12-mag	0.00396	0.00780	0.00875	0.00540	0.00618	0.00397	0.00413	0.00448	0.00490	0.00408	0.00336	0.00362	0.00812	0.00244
19-mag	0.00196	0.00197	0.00286	0.00187	0.00260	0.00225	0.00262	0.00245	0.00205	0.00199	0.00156	0.00187	0.00765	0.00180
24-mag	0.00730	0.00770	0.00797	0.00692	0.00813	0.00754	0.00862	0.00926	0.00882	0.00743	0.00666	0.00688	0.01073	0.00497
26-mag	0.00139	0.00155	0.00216	0.00131	0.00208	0.00180	0.00211	0.00188	0.00158	0.00131	0.00111	0.00142	0.00792	0.00153
28-mag	0.01735	0.01928	0.01988	0.02083	0.02224	0.02057	0.01913	0.01748	0.01654	0.01753	0.01740	0.01630	0.01665	0.01544
30-apr	0.01230	0.01388	0.01356	0.01228	0.01214	0.01004	0.00967	0.00988	0.00823	0.00571	0.00349	0.00336	0.01093	0.00374
03-mag	0.00505	0.00569	0.00385	0.00272	0.00371	0.00332	0.00347	0.00363	0.00323	0.00290	0.00270	0.00305	0.00919	0.00388
05-mag	0.00408	0.00444	0.00505	0.00345	0.00290	0.00178	0.00806	0.00400	0.00186	0.00159	0.00119	0.00139	0.00465	0.00183
07-mag	0.00301	0.00330	0.00431	0.00351	0.00412	0.00405	0.00460	0.00492	0.00399	0.00336	0.00264	0.00250	0.00883	0.00179
09-mag	0.00159	0.00168	0.00232	0.00145	0.00155	0.00152	0.00197	0.00248	0.00222	0.00167	0.00140	0.00177	0.00592	0.00146
12-mag	0.00115	0.00343	0.00178	0.00113	0.00358	0.00171	0.00204	0.00263	0.00248	0.00175	0.00159	0.00186	0.00630	0.00180
14-mag	0.00143	0.00211	0.00411	0.00142	0.00191	0.00220	0.00178	0.00307	0.00183	0.00110	0.00100	0.00129	0.00782	0.00142
19-mag	0.00833	0.00174	0.00222	0.00182	0.00228	0.00184	0.00241	0.00357	0.00255	0.00225	0.00182	0.00198	0.00927	0.00228
24-mag	0.00169	0.00167	0.00186	0.00125	0.00210	0.00180	0.00175	0.00171	0.00220	0.00165	0.00144	0.00150	0.00905	0.00155
26-mag	0.00135	0.00144	0.00196	0.00115	0.00190	0.00103	0.00126	0.00125	0.00126	0.00096	0.00082	0.00125	0.00785	0.00120
28-mag	0.01358	0.01290	0.01522	0.01608	0.01743	0.01520	0.01680	0.01701	0.01740	0.01672	0.01473	0.01532	0.01670	0.01816

Allegati

AL	0,7 - 1,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00095	0.00110	0.00168	0.00151	0.00179	0.00149	0.00311	0.00161	0.00205	0.00161	0.00136	0.00133	0.00808	0.00123
05-mag	0.00171	0.00253	0.00289	0.00209	0.00209	0.00235	0.00239	0.00331	0.00336	0.00276	0.00249	0.00279	0.01316	0.00278
07-mag	0.00214	0.00240	0.00228	0.00181	0.00229	0.00212	0.00214	0.00239	0.00213	0.00208	0.00176	0.00200	0.00392	0.00148
12-mag	0.00236	0.00411	0.00454	0.00293	0.00303	0.00229	0.00242	0.00211	0.00279	0.00195	0.00159	0.00170	0.00855	0.00135
19-mag	0.00249	0.00255	0.00321	0.00283	0.00315	0.00313	0.00343	0.00302	0.00305	0.00288	0.00253	0.00261	0.00947	0.00256
24-mag	0.00330	0.00362	0.00372	0.00344	0.00426	0.00394	0.00478	0.00463	0.00481	0.00415	0.00351	0.00351	0.00827	0.00279
26-mag	0.00152	0.00155	0.00175	0.00153	0.00196	0.00160	0.00194	0.00162	0.00152	0.00133	0.00120	0.00147	0.00738	0.00150
28-mag	0.00515	0.00594	0.00614	0.00671	0.00759	0.00662	0.00605	0.00488	0.00466	0.00459	0.00439	0.00430	0.01051	0.00412
30-apr	0.00425	0.00465	0.00411	0.00326	0.00377	0.00283	0.00298	0.00247	0.00263	0.00169	0.00128	0.00138	0.00914	0.00128
03-mag	0.00181	0.00212	0.00189	0.00145	0.00177	0.00163	0.00219	0.00176	0.00189	0.00156	0.00136	0.00150	0.00901	0.00176
05-mag	0.00321	0.00315	0.00366	0.00296	0.00247	0.00190	0.00571	0.00284	0.00184	0.00157	0.00125	0.00133	0.00437	0.00155
07-mag	0.00153	0.00162	0.00180	0.00137	0.00157	0.00167	0.00205	0.00177	0.00191	0.00129	0.00105	0.00112	0.00957	0.00082
09-mag	0.00112	0.00125	0.00159	0.00106	0.00104	0.00121	0.00131	0.00137	0.00141	0.00111	0.00102	0.00111	0.00626	0.00103
12-mag	0.00073	0.00117	0.00095	0.00073	0.00232	0.00113	0.00170	0.00167	0.00168	0.00128	0.00114	0.00127	0.00666	0.00133
14-mag	0.00120	0.00149	0.00258	0.00124	0.00146	0.00171	0.00145	0.00171	0.00154	0.00094	0.00083	0.00118	0.00917	0.00130
19-mag	0.00371	0.00245	0.00262	0.00256	0.00276	0.00249	0.00296	0.00371	0.00290	0.00267	0.00249	0.00242	0.01084	0.00258
24-mag	0.00118	0.00107	0.00116	0.00090	0.00129	0.00117	0.00134	0.00117	0.00127	0.00110	0.00101	0.00102	0.00818	0.00102
26-mag	0.00124	0.00121	0.00149	0.00109	0.00177	0.00098	0.00133	0.00108	0.00100	0.00083	0.00092	0.00101	0.00748	0.00096
28-mag	0.00375	0.00380	0.00453	0.00470	0.00529	0.00464	0.00552	0.00509	0.00597	0.00500	0.00485	0.00511	0.00989	0.00594

Allegati

AL	1,0 - 2,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00366	0.00383	0.00711	0.00497	0.00602	0.00475	0.01667	0.00542	0.00770	0.00618	0.00437	0.00426	0.02536	0.00375
05-mag	0.00605	0.00826	0.00911	0.00675	0.00725	0.00767	0.00874	0.01258	0.01447	0.01243	0.01041	0.01064	0.04492	0.00872
07-mag	0.00524	0.00598	0.00600	0.00499	0.00614	0.00549	0.00690	0.00556	0.00544	0.00583	0.00418	0.00508	0.01174	0.00398
12-mag	0.00587	0.00793	0.00848	0.00718	0.00697	0.00674	0.00721	0.00536	0.00793	0.00479	0.00381	0.00398	0.02789	0.00507
19-mag	0.01744	0.01788	0.02114	0.01972	0.02078	0.02065	0.02190	0.02044	0.01998	0.01966	0.01823	0.01688	0.03984	0.01751
24-mag	0.00962	0.01072	0.01025	0.00932	0.01072	0.00865	0.01033	0.00913	0.00913	0.00916	0.00968	0.00842	0.02493	0.00644
26-mag	0.00917	0.00894	0.01001	0.01265	0.01006	0.00843	0.01023	0.00970	0.00831	0.00763	0.00881	0.00835	0.02373	0.00872
28-mag	0.00784	0.00923	0.00976	0.00851	0.00948	0.00800	0.01120	0.00758	0.00736	0.00728	0.00640	0.00730	0.02997	0.00677
30-apr	0.00995	0.01048	0.00976	0.00770	0.01012	0.00733	0.00994	0.00778	0.00893	0.00684	0.00598	0.00580	0.03188	0.00506
03-mag	0.00590	0.00663	0.00746	0.00618	0.00714	0.00639	0.00973	0.00682	0.00779	0.00658	0.00550	0.00613	0.03349	0.00687
05-mag	0.00958	0.01004	0.01293	0.01148	0.01098	0.00817	0.00860	0.00820	0.00660	0.00589	0.00490	0.00498	0.01432	0.00578
07-mag	0.00443	0.00420	0.00493	0.00380	0.00406	0.00502	0.00569	0.00442	0.00582	0.00391	0.00315	0.00343	0.03393	0.00287
09-mag	0.00557	0.00517	0.00557	0.00509	0.00477	0.00474	0.00522	0.00519	0.00612	0.00527	0.00481	0.00485	0.02370	0.00453
12-mag	0.00240	0.00406	0.00321	0.00240	0.00620	0.00401	0.00775	0.00503	0.00724	0.00491	0.00451	0.00463	0.02559	0.00506
14-mag	0.00480	0.00559	0.00785	0.00525	0.00570	0.00648	0.00618	0.00581	0.00677	0.00420	0.00361	0.00481	0.03245	0.00532
19-mag	0.01737	0.01604	0.01688	0.01689	0.01700	0.01610	0.01799	0.01838	0.01823	0.01733	0.01676	0.01614	0.04739	0.01607
24-mag	0.00501	0.00475	0.00566	0.00593	0.00651	0.00525	0.00707	0.00629	0.00638	0.00555	0.00999	0.00652	0.03353	0.00514
26-mag	0.00735	0.00621	0.00749	0.00776	0.00780	0.00519	0.00703	0.00590	0.00544	0.00473	0.01011	0.00559	0.02863	0.00522
28-mag	0.00640	0.00781	0.00873	0.00735	0.00942	0.00826	0.01122	0.00936	0.01502	0.00878	0.00870	0.00927	0.02845	0.01058

Allegati

AL	2,0 - 3,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00541	0.00580	0.01122	0.00777	0.00986	0.00822	0.02891	0.00953	0.01325	0.01014	0.00707	0.00691	0.03533	0.00594
05-mag	0.00900	0.01261	0.01449	0.01059	0.01202	0.01304	0.01559	0.02019	0.02563	0.02055	0.01715	0.01708	0.06346	0.01376
07-mag	0.00779	0.00898	0.00951	0.00770	0.01023	0.00928	0.01209	0.00925	0.00946	0.00933	0.00691	0.00815	0.01665	0.00647
12-mag	0.00870	0.01221	0.01342	0.01130	0.01136	0.01150	0.01253	0.00876	0.01394	0.00795	0.00620	0.00657	0.03798	0.00780
19-mag	0.02583	0.02731	0.03370	0.03093	0.03427	0.03531	0.03806	0.03452	0.03522	0.03232	0.02965	0.02766	0.05609	0.02695
24-mag	0.01438	0.01638	0.01643	0.01473	0.01790	0.01477	0.01789	0.01514	0.01561	0.01485	0.01597	0.01348	0.03551	0.01046
26-mag	0.01351	0.01355	0.01590	0.01963	0.01667	0.01432	0.01785	0.01622	0.01469	0.01232	0.01457	0.01350	0.03353	0.01328
28-mag	0.01163	0.01407	0.01553	0.01337	0.01556	0.01364	0.01870	0.01248	0.01318	0.01185	0.01069	0.01251	0.04287	0.01016
30-apr	0.01523	0.01621	0.01578	0.01280	0.01684	0.01281	0.01910	0.01265	0.01515	0.01104	0.00953	0.00946	0.04150	0.00844
03-mag	0.00909	0.01034	0.01187	0.01032	0.01189	0.01136	0.01866	0.01144	0.01291	0.01092	0.00887	0.01028	0.04339	0.01116
05-mag	0.01495	0.01580	0.02066	0.01897	0.01834	0.01377	0.01653	0.01355	0.01171	0.00981	0.00755	0.00837	0.01848	0.00960
07-mag	0.00689	0.00673	0.00778	0.00602	0.00678	0.00879	0.01104	0.00754	0.01005	0.00626	0.00502	0.00592	0.04691	0.00470
09-mag	0.00855	0.00804	0.00871	0.00841	0.00805	0.00842	0.00994	0.00858	0.01007	0.00865	0.00776	0.00798	0.02869	0.00775
12-mag	0.00369	0.00656	0.00494	0.00397	0.01019	0.00690	0.01445	0.00855	0.01167	0.00811	0.00729	0.00813	0.03412	0.00843
14-mag	0.00752	0.00886	0.01220	0.00851	0.00932	0.01157	0.01213	0.00955	0.01122	0.00672	0.00593	0.00818	0.04367	0.00880
19-mag	0.02643	0.02563	0.02629	0.02688	0.02865	0.02689	0.03374	0.03029	0.03000	0.02817	0.02765	0.02662	0.06300	0.02731
24-mag	0.00770	0.00762	0.00893	0.00978	0.01080	0.00889	0.01345	0.01054	0.01073	0.00879	0.01669	0.01133	0.04347	0.00811
26-mag	0.01130	0.00959	0.01199	0.01284	0.01275	0.00904	0.01309	0.00953	0.00919	0.00773	0.01605	0.00937	0.03762	0.00856
28-mag	0.00988	0.01219	0.01389	0.01192	0.01602	0.01429	0.02138	0.01547	0.02606	0.01439	0.01333	0.01524	0.03616	0.01762

Allegati

AL	3,0 - 5,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00490	0.00530	0.01030	0.00711	0.00916	0.00794	0.02956	0.00862	0.01122	0.00865	0.00579	0.00689	0.02630	0.00539
05-mag	0.00859	0.01140	0.01343	0.00922	0.01101	0.01283	0.01671	0.01843	0.02235	0.01720	0.01573	0.01684	0.05185	0.01225
07-mag	0.00711	0.00795	0.00887	0.00678	0.00910	0.00916	0.01335	0.00886	0.00836	0.00833	0.00615	0.00785	0.01286	0.00552
12-mag	0.00805	0.01130	0.01169	0.01038	0.01059	0.01103	0.01348	0.00852	0.01311	0.00661	0.00539	0.00651	0.03114	0.00664
19-mag	0.02464	0.02464	0.03003	0.02733	0.03081	0.03452	0.03908	0.03104	0.03265	0.02710	0.02736	0.02611	0.04579	0.02532
24-mag	0.01345	0.01500	0.01502	0.01357	0.01533	0.01425	0.01880	0.01370	0.01499	0.01286	0.01413	0.01401	0.03026	0.00910
26-mag	0.01246	0.01227	0.01464	0.01748	0.01544	0.01401	0.01989	0.01559	0.01398	0.01108	0.01188	0.01329	0.02790	0.01294
28-mag	0.01092	0.01242	0.01444	0.01220	0.01431	0.01332	0.02022	0.01283	0.01194	0.01020	0.00956	0.01310	0.03540	0.00894
30-apr	0.01414	0.01639	0.01585	0.01340	0.01793	0.01358	0.02224	0.01492	0.01581	0.01149	0.01068	0.00998	0.02899	0.00954
03-mag	0.00906	0.00942	0.01277	0.01055	0.01301	0.01181	0.02023	0.01313	0.01362	0.01151	0.00807	0.00980	0.03854	0.01189
05-mag	0.01481	0.01447	0.02034	0.02209	0.01917	0.01475	0.01896	0.01576	0.01169	0.00976	0.00801	0.00802	0.01413	0.00983
07-mag	0.00676	0.00656	0.00823	0.00679	0.00745	0.00877	0.01207	0.00885	0.01058	0.00567	0.00497	0.00629	0.03319	0.00500
09-mag	0.00859	0.00755	0.00889	0.00939	0.00878	0.00918	0.01143	0.00954	0.01080	0.00889	0.00752	0.00787	0.01985	0.00850
12-mag	0.00361	0.00708	0.00519	0.00416	0.01082	0.00771	0.01584	0.00954	0.01257	0.00846	0.00654	0.00881	0.02686	0.00863
14-mag	0.00724	0.00837	0.01260	0.00964	0.00968	0.01228	0.01344	0.01138	0.01183	0.00678	0.00621	0.00751	0.03564	0.00935
19-mag	0.02689	0.02638	0.02790	0.02924	0.03026	0.03044	0.03965	0.03212	0.03022	0.02612	0.02771	0.02730	0.04664	0.02911
24-mag	0.00760	0.00767	0.00922	0.01163	0.01198	0.00989	0.01489	0.01209	0.01115	0.00952	0.01941	0.01179	0.03307	0.00861
26-mag	0.01063	0.00982	0.01260	0.01431	0.01449	0.00912	0.01606	0.01073	0.00910	0.00803	0.01529	0.00959	0.02698	0.00878
28-mag	0.00984	0.01307	0.01446	0.01390	0.01628	0.01586	0.02552	0.01644	0.02620	0.01441	0.01431	0.01594	0.02531	0.01934

Allegati

AL	5,0 - 10													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00355	0.00354	0.00662	0.00589	0.00721	0.00579	0.02270	0.00488	0.00822	0.00640	0.00450	0.00482	0.01970	0.00389
05-mag	0.00613	0.00768	0.00881	0.00651	0.00879	0.00891	0.01211	0.01165	0.01730	0.01104	0.01108	0.01273	0.03272	0.00701
07-mag	0.00467	0.00538	0.00576	0.00490	0.00751	0.00642	0.01011	0.00600	0.00662	0.00582	0.00386	0.00584	0.00886	0.00372
12-mag	0.00546	0.00763	0.00809	0.00800	0.00783	0.00785	0.01156	0.00527	0.00925	0.00464	0.00344	0.00452	0.02140	0.00480
19-mag	0.01642	0.01646	0.02060	0.01986	0.02218	0.02557	0.02890	0.02070	0.02117	0.01846	0.01584	0.02140	0.03059	0.01759
24-mag	0.00872	0.01053	0.01068	0.00871	0.01111	0.01019	0.01512	0.00975	0.00988	0.00865	0.00951	0.00934	0.01759	0.00558
26-mag	0.00806	0.00837	0.00944	0.01253	0.01080	0.01018	0.01367	0.01022	0.00997	0.00686	0.00863	0.00912	0.01776	0.00937
28-mag	0.00743	0.00823	0.01071	0.00745	0.01134	0.00933	0.01661	0.00757	0.00784	0.00749	0.00620	0.00935	0.02287	0.00752
30-apr	0.01188	0.01359	0.01292	0.01230	0.01442	0.01288	0.01783	0.01215	0.01628	0.01036	0.00792	0.01005	0.01829	0.00847
03-mag	0.00675	0.00935	0.01110	0.01056	0.01136	0.01203	0.01554	0.01123	0.01402	0.00923	0.00849	0.01118	0.01452	0.00943
05-mag	0.01240	0.01236	0.01624	0.02022	0.01702	0.01323	0.01683	0.01430	0.01221	0.00790	0.00672	0.00869	0.00881	0.01024
07-mag	0.00529	0.00505	0.00654	0.00598	0.00576	0.00966	0.00955	0.00662	0.01100	0.00605	0.00491	0.00605	0.01971	0.00407
09-mag	0.00711	0.00698	0.00702	0.00834	0.00776	0.00801	0.00755	0.00865	0.01042	0.00688	0.00741	0.00821	0.01528	0.00733
12-mag	0.00267	0.00524	0.00434	0.00410	0.00907	0.00693	0.01240	0.00824	0.01300	0.00618	0.00618	0.00789	0.01640	0.00779
14-mag	0.00566	0.00776	0.00948	0.00793	0.00811	0.01145	0.01021	0.00938	0.01130	0.00587	0.00495	0.00792	0.01986	0.00837
19-mag	0.02032	0.01748	0.02262	0.02711	0.02620	0.02866	0.02731	0.02940	0.03008	0.02318	0.02856	0.02692	0.03148	0.02617
24-mag	0.00637	0.00533	0.00748	0.00870	0.00841	0.00862	0.01115	0.01065	0.01114	0.00641	0.01342	0.01119	0.02164	0.00789
26-mag	0.00832	0.00784	0.00947	0.01375	0.01104	0.00809	0.00860	0.00893	0.00917	0.00669	0.01742	0.00963	0.02057	0.00856
28-mag	0.00739	0.01054	0.01193	0.01316	0.01468	0.01482	0.02304	0.01413	0.02710	0.01264	0.00954	0.01508	0.01494	0.01706

Allegati

TOT	0,3 - 0,5													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00491	0.00762	0.00992	0.01160	0.01590	0.01781	0.02116	0.02096	0.02299	0.02396	0.02113	0.01979	0.01790	0.01865
05-mag	0.01162	0.01734	0.01860	0.01454	0.01530	0.01760	0.01667	0.02550	0.02009	0.01778	0.01784	0.01875	0.01992	0.01390
07-mag	0.02439	0.02837	0.02764	0.02366	0.02763	0.02645	0.02583	0.03023	0.02745	0.02369	0.02299	0.02386	0.01586	0.02130
12-mag	0.01072	0.01827	0.02127	0.01671	0.01972	0.01454	0.01520	0.01725	0.01681	0.01545	0.01282	0.01452	0.01274	0.01089
19-mag	0.01107	0.01158	0.01465	0.00941	0.01220	0.01034	0.01183	0.01252	0.01041	0.01046	0.00884	0.01011	0.01200	0.01074
24-mag	0.02177	0.02281	0.02500	0.02071	0.02361	0.02159	0.02391	0.02729	0.02578	0.02296	0.02169	0.02108	0.01849	0.01734
26-mag	0.00821	0.00898	0.01095	0.00822	0.01036	0.01068	0.01100	0.01168	0.00991	0.00859	0.00813	0.00955	0.01130	0.00967
28-mag	0.04061	0.04361	0.04440	0.04371	0.04545	0.04248	0.04227	0.04129	0.03926	0.04210	0.04204	0.04123	0.03082	0.04150
30-apr	0.03554	0.03907	0.03997	0.03745	0.03796	0.03657	0.03566	0.04078	0.03354	0.02954	0.02357	0.02311	0.02689	0.02362
03-mag	0.02009	0.02209	0.01794	0.01340	0.01747	0.01615	0.01541	0.01780	0.01485	0.01397	0.01301	0.01410	0.01616	0.01655
05-mag	0.01151	0.01355	0.01702	0.01187	0.01039	0.00688	0.01123	0.01487	0.00580	0.00544	0.00385	0.00450	0.00913	0.00672
07-mag	0.02309	0.02595	0.03326	0.03160	0.03411	0.03251	0.03445	0.03523	0.02875	0.02655	0.02245	0.02036	0.01858	0.01839
09-mag	0.01307	0.01241	0.01409	0.01210	0.01256	0.01148	0.01357	0.01675	0.01633	0.01349	0.01235	0.01367	0.01302	0.01248
12-mag	0.00514	0.01145	0.00797	0.00478	0.01487	0.00788	0.00883	0.01149	0.01069	0.00867	0.00793	0.00841	0.01077	0.00859
14-mag	0.00823	0.01102	0.01435	0.00887	0.01083	0.01227	0.00917	0.01450	0.00928	0.00708	0.00675	0.00724	0.01066	0.00901
19-mag	0.02168	0.00995	0.01174	0.01052	0.01236	0.01158	0.01497	0.01791	0.01611	0.01667	0.01412	0.01612	0.01450	0.01718
24-mag	0.01010	0.01049	0.01131	0.00858	0.01175	0.01083	0.01032	0.01130	0.01166	0.00982	0.00923	0.00920	0.01434	0.00945
26-mag	0.00907	0.00887	0.01177	0.00717	0.00937	0.00689	0.00720	0.00851	0.00773	0.00616	0.00563	0.00779	0.01089	0.00788
28-mag	0.03811	0.03739	0.04236	0.04112	0.04413	0.04013	0.04289	0.04508	0.04475	0.04291	0.03780	0.03853	0.03266	0.04594

Allegati

TOT	0,5 - 0,7													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00369	0.00538	0.00704	0.00690	0.00900	0.00932	0.01388	0.01101	0.01232	0.01208	0.01109	0.01035	0.02230	0.01004
05-mag	0.00769	0.01136	0.01247	0.00959	0.01040	0.01186	0.01092	0.01757	0.01329	0.01108	0.01166	0.01337	0.03194	0.01098
07-mag	0.01271	0.01473	0.01371	0.01042	0.01350	0.01243	0.01140	0.01464	0.01198	0.01008	0.00930	0.01011	0.01180	0.00746
12-mag	0.00995	0.01960	0.02200	0.01356	0.01555	0.00997	0.01038	0.01127	0.01231	0.01027	0.00845	0.00911	0.02042	0.00613
19-mag	0.00492	0.00494	0.00719	0.00470	0.00654	0.00566	0.00658	0.00615	0.00515	0.00500	0.00391	0.00471	0.01923	0.00452
24-mag	0.01835	0.01935	0.02003	0.01739	0.02044	0.01894	0.02167	0.02327	0.02218	0.01868	0.01673	0.01729	0.02698	0.01249
26-mag	0.00349	0.00390	0.00543	0.00330	0.00523	0.00454	0.00530	0.00472	0.00398	0.00330	0.00278	0.00356	0.01991	0.00384
28-mag	0.04361	0.04846	0.04997	0.05236	0.05591	0.05172	0.04809	0.04395	0.04158	0.04406	0.04374	0.04097	0.04186	0.03882
30-apr	0.03091	0.03489	0.03408	0.03088	0.03053	0.02524	0.02430	0.02485	0.02070	0.01434	0.00878	0.00845	0.02747	0.00939
03-mag	0.01270	0.01430	0.00968	0.00683	0.00932	0.00834	0.00873	0.00913	0.00811	0.00729	0.00678	0.00768	0.02310	0.00976
05-mag	0.01026	0.01117	0.01269	0.00867	0.00730	0.00448	0.02026	0.01006	0.00466	0.00401	0.00300	0.00349	0.01169	0.00459
07-mag	0.00758	0.00830	0.01083	0.00883	0.01035	0.01019	0.01156	0.01236	0.01002	0.00844	0.00664	0.00629	0.02220	0.00451
09-mag	0.00400	0.00423	0.00584	0.00364	0.00389	0.00383	0.00496	0.00624	0.00559	0.00420	0.00352	0.00444	0.01489	0.00367
12-mag	0.00288	0.00863	0.00447	0.00283	0.00899	0.00429	0.00514	0.00661	0.00623	0.00440	0.00400	0.00467	0.01584	0.00454
14-mag	0.00361	0.00529	0.01032	0.00358	0.00481	0.00554	0.00448	0.00772	0.00460	0.00277	0.00252	0.00323	0.01966	0.00357
19-mag	0.02094	0.00438	0.00559	0.00458	0.00573	0.00463	0.00606	0.00898	0.00641	0.00566	0.00458	0.00498	0.02329	0.00574
24-mag	0.00424	0.00419	0.00467	0.00315	0.00527	0.00452	0.00441	0.00429	0.00553	0.00416	0.00361	0.00378	0.02274	0.00391
26-mag	0.00340	0.00362	0.00493	0.00290	0.00478	0.00259	0.00316	0.00315	0.00318	0.00241	0.00207	0.00315	0.01974	0.00302
28-mag	0.03415	0.03242	0.03825	0.04043	0.04381	0.03821	0.04223	0.04277	0.04374	0.04204	0.03704	0.03852	0.04199	0.04564

Allegati

TOT	0,7 - 1,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.00296	0.00343	0.00527	0.00473	0.00559	0.00466	0.00974	0.00503	0.00640	0.00503	0.00427	0.00417	0.02528	0.00386
05-mag	0.00535	0.00792	0.00904	0.00652	0.00653	0.00734	0.00749	0.01036	0.01050	0.00864	0.00778	0.00872	0.04117	0.00870
07-mag	0.00669	0.00751	0.00713	0.00565	0.00717	0.00664	0.00668	0.00747	0.00665	0.00650	0.00550	0.00625	0.01227	0.00462
12-mag	0.00738	0.01284	0.01421	0.00916	0.00949	0.00715	0.00757	0.00659	0.00872	0.00609	0.00497	0.00532	0.02675	0.00424
19-mag	0.00778	0.00799	0.01003	0.00887	0.00986	0.00979	0.01072	0.00945	0.00954	0.00900	0.00791	0.00816	0.02962	0.00799
24-mag	0.01032	0.01134	0.01163	0.01077	0.01332	0.01233	0.01495	0.01448	0.01504	0.01298	0.01097	0.01099	0.02588	0.00873
26-mag	0.00476	0.00486	0.00546	0.00478	0.00613	0.00499	0.00607	0.00506	0.00476	0.00416	0.00375	0.00460	0.02309	0.00468
28-mag	0.01611	0.01858	0.01921	0.02100	0.02375	0.02072	0.01893	0.01528	0.01458	0.01437	0.01373	0.01345	0.03288	0.01289
30-apr	0.01331	0.01454	0.01285	0.01020	0.01178	0.00886	0.00931	0.00772	0.00822	0.00529	0.00399	0.00432	0.02860	0.00402
03-mag	0.00567	0.00663	0.00591	0.00454	0.00554	0.00509	0.00684	0.00551	0.00591	0.00487	0.00424	0.00470	0.02817	0.00551
05-mag	0.01003	0.00986	0.01144	0.00925	0.00771	0.00594	0.01785	0.00889	0.00576	0.00492	0.00391	0.00417	0.01368	0.00485
07-mag	0.00479	0.00506	0.00564	0.00429	0.00492	0.00521	0.00641	0.00555	0.00599	0.00403	0.00330	0.00351	0.02992	0.00255
09-mag	0.00352	0.00390	0.00498	0.00332	0.00326	0.00377	0.00410	0.00427	0.00442	0.00348	0.00319	0.00346	0.01959	0.00321
12-mag	0.00227	0.00367	0.00296	0.00227	0.00724	0.00354	0.00531	0.00524	0.00524	0.00402	0.00356	0.00396	0.02083	0.00416
14-mag	0.00375	0.00466	0.00807	0.00389	0.00458	0.00536	0.00455	0.00533	0.00483	0.00295	0.00259	0.00370	0.02869	0.00406
19-mag	0.01160	0.00767	0.00821	0.00801	0.00864	0.00779	0.00926	0.01160	0.00908	0.00835	0.00780	0.00758	0.03392	0.00806
24-mag	0.00370	0.00335	0.00363	0.00281	0.00402	0.00366	0.00418	0.00367	0.00397	0.00344	0.00317	0.00318	0.02559	0.00318
26-mag	0.00387	0.00377	0.00466	0.00342	0.00553	0.00307	0.00417	0.00337	0.00314	0.00260	0.00287	0.00316	0.02338	0.00300
28-mag	0.01173	0.01190	0.01418	0.01471	0.01654	0.01452	0.01726	0.01593	0.01868	0.01563	0.01516	0.01598	0.03095	0.01857

Allegati

TOT	1,0 - 2,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.01732	0.01811	0.03364	0.02352	0.02849	0.02250	0.07892	0.02565	0.03645	0.02923	0.02066	0.02015	0.12000	0.01776
05-mag	0.02861	0.03910	0.04311	0.03194	0.03433	0.03629	0.04136	0.05953	0.06848	0.05883	0.04928	0.05036	0.21262	0.04125
07-mag	0.02480	0.02830	0.02842	0.02363	0.02904	0.02598	0.03267	0.02633	0.02574	0.02758	0.01979	0.02403	0.05556	0.01882
12-mag	0.02779	0.03755	0.04014	0.03396	0.03298	0.03188	0.03412	0.02535	0.03752	0.02269	0.01802	0.01884	0.13200	0.02398
19-mag	0.08256	0.08460	0.10003	0.09335	0.09836	0.09776	0.10366	0.09675	0.09456	0.09305	0.08626	0.07990	0.18855	0.08288
24-mag	0.04551	0.05073	0.04850	0.04412	0.05076	0.04093	0.04891	0.04323	0.04320	0.04334	0.04581	0.03985	0.11798	0.03048
26-mag	0.04340	0.04231	0.04739	0.05988	0.04760	0.03992	0.04844	0.04593	0.03934	0.03609	0.04168	0.03954	0.11229	0.04129
28-mag	0.03713	0.04367	0.04619	0.04029	0.04487	0.03784	0.05303	0.03585	0.03484	0.03448	0.03030	0.03454	0.14185	0.03203
30-apr	0.04708	0.04959	0.04621	0.03644	0.04788	0.03468	0.04706	0.03682	0.04228	0.03239	0.02828	0.02746	0.15088	0.02396
03-mag	0.02792	0.03139	0.03530	0.02926	0.03380	0.03023	0.04605	0.03226	0.03685	0.03112	0.02605	0.02900	0.15849	0.03253
05-mag	0.04534	0.04752	0.06118	0.05434	0.05195	0.03868	0.04069	0.03883	0.03122	0.02790	0.02317	0.02355	0.06778	0.02738
07-mag	0.02097	0.01986	0.02332	0.01798	0.01922	0.02377	0.02692	0.02092	0.02753	0.01852	0.01490	0.01625	0.16058	0.01358
09-mag	0.02637	0.02447	0.02635	0.02407	0.02260	0.02245	0.02472	0.02457	0.02898	0.02495	0.02278	0.02295	0.11215	0.02143
12-mag	0.01135	0.01920	0.01521	0.01138	0.02933	0.01898	0.03666	0.02379	0.03426	0.02324	0.02136	0.02193	0.12111	0.02397
14-mag	0.02274	0.02648	0.03717	0.02484	0.02696	0.03069	0.02926	0.02750	0.03205	0.01988	0.01710	0.02277	0.15358	0.02518
19-mag	0.08223	0.07593	0.07990	0.07992	0.08045	0.07619	0.08514	0.08698	0.08630	0.08200	0.07931	0.07637	0.22430	0.07605
24-mag	0.02372	0.02249	0.02678	0.02808	0.03082	0.02485	0.03345	0.02979	0.03020	0.02628	0.04730	0.03085	0.15870	0.02433
26-mag	0.03479	0.02939	0.03545	0.03671	0.03693	0.02458	0.03327	0.02790	0.02573	0.02241	0.04785	0.02645	0.13552	0.02469
28-mag	0.03029	0.03697	0.04134	0.03478	0.04457	0.03911	0.05311	0.04428	0.07107	0.04155	0.04119	0.04387	0.13464	0.05006

Allegati

TOT	2,0 - 3,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.04226	0.04527	0.08766	0.06067	0.07701	0.06423	0.22578	0.07441	0.10350	0.07916	0.05521	0.05393	0.27590	0.04642
05-mag	0.07030	0.09849	0.11314	0.08269	0.09385	0.10183	0.12177	0.15770	0.20013	0.16046	0.13392	0.13339	0.49561	0.10745
07-mag	0.06083	0.07013	0.07429	0.06014	0.07987	0.07246	0.09442	0.07223	0.07392	0.07287	0.05394	0.06366	0.13002	0.05056
12-mag	0.06797	0.09535	0.10478	0.08825	0.08873	0.08981	0.09789	0.06839	0.10883	0.06212	0.04846	0.05128	0.29663	0.06090
19-mag	0.20175	0.21330	0.26319	0.24154	0.26765	0.27575	0.29727	0.26958	0.27505	0.25241	0.23158	0.21600	0.43801	0.21046
24-mag	0.11233	0.12793	0.12835	0.11500	0.13980	0.11531	0.13972	0.11826	0.12188	0.11599	0.12473	0.10525	0.27731	0.08172
26-mag	0.10548	0.10581	0.12416	0.15333	0.13018	0.11183	0.13942	0.12665	0.11475	0.09623	0.11382	0.10546	0.26189	0.10371
28-mag	0.09081	0.10989	0.12126	0.10439	0.12151	0.10654	0.14607	0.09745	0.10295	0.09256	0.08349	0.09770	0.33476	0.07937
30-apr	0.11894	0.12657	0.12320	0.09996	0.13150	0.10006	0.14920	0.09882	0.11834	0.08622	0.07442	0.07387	0.32406	0.06588
03-mag	0.07102	0.08073	0.09274	0.08057	0.09288	0.08875	0.14570	0.08936	0.10086	0.08527	0.06924	0.08026	0.33888	0.08714
05-mag	0.11672	0.12336	0.16135	0.14812	0.14325	0.10752	0.12908	0.10584	0.09143	0.07658	0.05896	0.06533	0.14435	0.07500
07-mag	0.05380	0.05255	0.06075	0.04704	0.05295	0.06862	0.08621	0.05885	0.07845	0.04887	0.03921	0.04626	0.36638	0.03670
09-mag	0.06680	0.06277	0.06806	0.06567	0.06288	0.06579	0.07763	0.06700	0.07864	0.06755	0.06058	0.06232	0.22404	0.06050
12-mag	0.02881	0.05124	0.03857	0.03099	0.07960	0.05390	0.11283	0.06681	0.09113	0.06334	0.05692	0.06351	0.26649	0.06585
14-mag	0.05874	0.06920	0.09527	0.06650	0.07280	0.09035	0.09472	0.07461	0.08765	0.05250	0.04629	0.06392	0.34100	0.06873
19-mag	0.20642	0.20014	0.20535	0.20992	0.22373	0.20998	0.26352	0.23653	0.23428	0.21999	0.21596	0.20786	0.49199	0.21325
24-mag	0.06016	0.05955	0.06977	0.07635	0.08436	0.06944	0.10504	0.08233	0.08382	0.06868	0.13034	0.08851	0.33951	0.06334
26-mag	0.08822	0.07492	0.09361	0.10030	0.09960	0.07061	0.10225	0.07442	0.07176	0.06039	0.12534	0.07317	0.29380	0.06682
28-mag	0.07715	0.09519	0.10845	0.09307	0.12514	0.11159	0.16693	0.12082	0.20355	0.11239	0.10412	0.11903	0.28236	0.13764

Allegati

TOT	3,0 - 5,0													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.06166	0.06674	0.12964	0.08955	0.11538	0.10002	0.37224	0.10851	0.14131	0.10890	0.07288	0.08679	0.33120	0.06786
05-mag	0.10814	0.14352	0.16915	0.11606	0.13861	0.16157	0.21039	0.23205	0.28143	0.21661	0.19812	0.21206	0.65290	0.15422
07-mag	0.08958	0.10005	0.11167	0.08535	0.11453	0.11533	0.16808	0.11154	0.10521	0.10495	0.07740	0.09886	0.16197	0.06956
12-mag	0.10135	0.14229	0.14716	0.13064	0.13335	0.13891	0.16971	0.10724	0.16504	0.08317	0.06781	0.08197	0.39212	0.08366
19-mag	0.31024	0.31022	0.37806	0.34408	0.38791	0.43464	0.49204	0.39079	0.41109	0.34117	0.34455	0.32871	0.57657	0.31887
24-mag	0.16940	0.18889	0.18915	0.17081	0.19298	0.17945	0.23671	0.17246	0.18877	0.16194	0.17797	0.17638	0.38104	0.11463
26-mag	0.15690	0.15446	0.18437	0.22010	0.19444	0.17636	0.25041	0.19625	0.17599	0.13952	0.14964	0.16731	0.35129	0.16289
28-mag	0.13745	0.15642	0.18181	0.15357	0.18022	0.16770	0.25454	0.16153	0.15036	0.12839	0.12034	0.16495	0.44571	0.11250
30-apr	0.17799	0.20642	0.19958	0.16875	0.22571	0.17097	0.27998	0.18792	0.19906	0.14471	0.13453	0.12562	0.36500	0.12012
03-mag	0.11406	0.11856	0.16080	0.13286	0.16382	0.14874	0.25471	0.16536	0.17154	0.14491	0.10166	0.12345	0.48524	0.14974
05-mag	0.18650	0.18222	0.25605	0.27814	0.24143	0.18577	0.23873	0.19840	0.14722	0.12290	0.10083	0.10101	0.17797	0.12375
07-mag	0.08513	0.08262	0.10360	0.08548	0.09379	0.11040	0.15197	0.11145	0.13315	0.07142	0.06257	0.07919	0.41787	0.06300
09-mag	0.10812	0.09511	0.11195	0.11818	0.11051	0.11560	0.14395	0.12016	0.13594	0.11190	0.09464	0.09914	0.24999	0.10702
12-mag	0.04545	0.08917	0.06532	0.05233	0.13627	0.09708	0.19950	0.12017	0.15826	0.10651	0.08235	0.11099	0.33822	0.10871
14-mag	0.09112	0.10540	0.15870	0.12144	0.12183	0.15456	0.16924	0.14325	0.14891	0.08540	0.07821	0.09461	0.44872	0.11772
19-mag	0.33862	0.33215	0.35131	0.36822	0.38108	0.38330	0.49927	0.40441	0.38057	0.32889	0.34885	0.34369	0.58725	0.36660
24-mag	0.09572	0.09662	0.11604	0.14642	0.15079	0.12450	0.18746	0.15217	0.14041	0.11988	0.24440	0.14844	0.41635	0.10842
26-mag	0.13387	0.12369	0.15866	0.18017	0.18240	0.11488	0.20221	0.13507	0.11459	0.10111	0.19248	0.12076	0.33977	0.11056
28-mag	0.12389	0.16451	0.18202	0.17498	0.20499	0.19964	0.32133	0.20700	0.32989	0.18143	0.18014	0.20066	0.31874	0.24351

Allegati

TOT	5,0 - 10													
	UC	S1	S2	G1	S3	P1	S4	PG	P2	S5	G2	S6	SW	S7
03-mag	0.09913	0.09884	0.18501	0.16453	0.20150	0.16172	0.63438	0.13646	0.22988	0.17886	0.12569	0.13464	0.55060	0.10862
05-mag	0.17120	0.21454	0.24632	0.18199	0.24566	0.24911	0.33857	0.32575	0.48355	0.30846	0.30971	0.35580	0.91467	0.19603
07-mag	0.13047	0.15045	0.16087	0.13694	0.20981	0.17957	0.28263	0.16770	0.18497	0.16254	0.10779	0.16328	0.24760	0.10390
12-mag	0.15264	0.21317	0.22624	0.22356	0.21882	0.21950	0.32317	0.14717	0.25866	0.12970	0.09604	0.12647	0.59822	0.13417
19-mag	0.45896	0.46007	0.57588	0.55500	0.61994	0.71474	0.80767	0.57861	0.59163	0.51583	0.44274	0.59823	0.85499	0.49166
24-mag	0.24363	0.29432	0.29848	0.24338	0.31041	0.28477	0.42248	0.27249	0.27622	0.24163	0.26582	0.26102	0.49154	0.15595
26-mag	0.22538	0.23403	0.26399	0.35019	0.30185	0.28450	0.38209	0.28562	0.27865	0.19171	0.24130	0.25495	0.49636	0.26189
28-mag	0.20776	0.23016	0.29931	0.20815	0.31684	0.26089	0.46425	0.21166	0.21908	0.20944	0.17341	0.26133	0.63910	0.21019
30-apr	0.33211	0.37982	0.36102	0.34386	0.40317	0.35997	0.49832	0.33967	0.45493	0.28970	0.22130	0.28103	0.51113	0.23668
03-mag	0.18879	0.26143	0.31020	0.29519	0.31752	0.33614	0.43434	0.31378	0.39195	0.25785	0.23723	0.31253	0.40576	0.26359
05-mag	0.34648	0.34551	0.45380	0.56519	0.47578	0.36967	0.47030	0.39967	0.34118	0.22069	0.18796	0.24294	0.24629	0.28632
07-mag	0.14780	0.14117	0.18292	0.16720	0.16104	0.26999	0.26702	0.18507	0.30756	0.16915	0.13711	0.16897	0.55102	0.11385
09-mag	0.19881	0.19509	0.19618	0.23321	0.21677	0.22375	0.21107	0.24187	0.29132	0.19221	0.20702	0.22959	0.42710	0.20477
12-mag	0.07458	0.14637	0.12127	0.11462	0.25351	0.19372	0.34668	0.23020	0.36324	0.17282	0.17273	0.22055	0.45836	0.21760
14-mag	0.15819	0.21693	0.26487	0.22153	0.22670	0.32012	0.28533	0.26205	0.31572	0.16413	0.13842	0.22129	0.55502	0.23389
19-mag	0.56796	0.48853	0.63225	0.75773	0.73232	0.80107	0.76335	0.82177	0.84070	0.64799	0.79842	0.75247	0.87979	0.73144
24-mag	0.17814	0.14891	0.20916	0.24327	0.23520	0.24092	0.31157	0.29778	0.31148	0.17919	0.37511	0.31282	0.60477	0.22056
26-mag	0.23257	0.21921	0.26481	0.38422	0.30858	0.22623	0.24045	0.24963	0.25628	0.18697	0.48696	0.26925	0.57502	0.23916
28-mag	0.20654	0.29464	0.33345	0.36777	0.41030	0.41433	0.64408	0.39493	0.75759	0.35335	0.26677	0.42138	0.41767	0.47683

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AMAT (Agenzia Mobilità Ambiente Territorio), 2012. Rapporto giornaliero sulla qualità dell'aria nel comune di Milano, 2012.

ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente), 2010-2011. Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia.

EEA (European Environment Agency), 2012. Air quality in Europe.

Hofmann W., 2011. Modelling inhaled particle deposition in the human lung - a review. *Journal of Aerosol Science* 42, 693–724.

Hofmann W., Asgharian B., Winkler-Heil R., (2002). Modeling inter subject variability of particle deposition in human lungs. *Journal of Aerosol Science*, 33, 219–235.

Horsfield K., Dart G., Olson D.E., Filley G.F., Cumming G., 1971. Models of the human bronchial tree, *J. Appl. Physiol.* 31 (2) 207–217.

Horsfield K., Cumming G., 1968. Morphology of the bronchial tree in man. *Journal of applied physiology*, 24, 373–383.

International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1994. Human respiratory tract model for radiological protection, ICRP Publication 66. *Annals of the ICRP*, 24(4). Oxford: Pergamon, 482 pp.

International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2002. Guide for the Practical Application of the ICRP Human Respiratory Tract Model. *Annals of the ICRP*, 32 (1–2), 1–312. Oxford: Pergamon.

ISO, 1995. Air quality: particle size fraction definitions for health-related sampling. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

ISPRA, 2011. Annuario dei dati ambientali, Capitolo 3: Qualità dell'aria.

- Khorasanizade S., Shams M., Mansoori B.M., 2010. Calculation of aerosol deposition in human lung airways using Horsfield geometric model. *Advanced powder technology*, 695-705.
- Koblinger L., Hofman W., 1990. Monte Carlo modeling of aerosol deposition in human lungs: Part I. Simulation of particle transport in a stochastic lung structure, *J. Aerosol Sci.* 21 (5) 661–674.
- Lazaridis M., Housiadas C., 2010. Human exposure to pollutants via dermal absorption and inhalation. Chapter 6. Environmental pollution.
- Legambiente, 2013. Mal aria di città 2013: L'inquinamento atmosferico e acustico nelle città italiane.
- Lonati G., Ozgen S., Ripamonti G., Cernuschi S., Giugliano M., 2011. Pedestrian Exposure to Size-Resolved Particles in Milan. Politecnico di Milano, DIIAR, Environmental Section, Milan, Italy.
- National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP), 1994. Deposition, retention and dosimetry of inhaled radioactive substances (Report S. C. 57-2). Bethesda, MD: NCRP.
- Marconi A., 2003. Materiale particellare aerodisperso: definizioni, effetti sanitari, misura e sintesi delle indagini ambientali effettuate a Roma, Istituto Superiore di Sanità, 39(3): 329 -342.
- Martonen T.B., Quan L., Zhang Z., Musante C.J., 2002. Flow simulation in the human upper human respiratory tract. *Cell biochemistry and biophysics*, 37, 27–36.
- Martonen T.B., Zhang Z., Musante C.J., 2003. Fine particle deposition with in human nasal airways. *Inhalation toxicology*, 15, 283–303.

- Parent R. A., 1991. Treatise on pulmonary toxicology, Volume I: Comparative biology of the normal lung.
- Rudolf G., Köbrich R., Stahlhofen W., James A. C., 1994. Regional airway deposition in man – a statistical and algebraic model.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2004. Air quality criteria for particulate matter. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Weibel E.R., 1963. The morphometry of the human lung. Academic press: New York.
- WHO Air Quality Guidelines: Geneva 1999. World Health Organization Regional Office for Europe.
- Yeh H. and Schum G., 1980. Models of human lung airways and their application to inhaled particle deposition.
- Zhang L., Asgharian B., Anjilvel S., 1997. Inertial deposition of particles in the human upper airway system. Aerosol Science and Technology, 26, 97–110.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Tipica distribuzione del numero, massa e superficie complessiva del particolato in funzione del diametro aerodinamico.....	12
Figura 2 - Stima delle emissioni di PM10 in Lombardia.	14
Figura 3- Fonti di emissioni di PM10 e PM2.5.....	15
Figura 4 - Rappresentazione schematica della distribuzione dimensionale in termini di massa delle particelle aerodisperse, dell'origine e della reazione dinamica tra le particelle e il mezzo in cui sono sospese (Marconi A., 2003).	19
Figura 5 - Composizione del particolato atmosferico a Milano.	22
Figura 6 - Andamento delle emissioni di alcuni composti inquinanti dal 2000 al 2010 con emissioni inferiori al milione di tonnellate/anno.....	24
Figura 7 - Andamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e PM2.5 nel mese di dicembre 2012.	25
Figura 8 - Concentrazione media di PM10 nel mese di dicembre dal 2002 al 2012.....	25
Figura 9 - Concentrazione media mensile ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10 e PM2.5 negli anni 2011 e 2012. Elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio s.r.l. su dati e previsioni ARPA Lombardia.	26
Figura 10 - Profondità di penetrazione del particolato nel sistema respiratorio in funzione della granulometria.....	31
Figura 11 - Deposizione delle particelle inalate nelle varie regioni dell'apparato respiratorio in funzione delle dimensioni delle particelle	33
Figura 12 - Rappresentazione delle regioni anatomiche nel tratto respiratorio umano.....	40
Figura 13 - Modello di Weibel.....	41
Figura 14 - Rappresentazione delle diverse strutture simmetrica e asimmetrica del polmone.	43
Figura 15 - Meccanismi principali di deposizione: impatto, sedimentazione, diffusione Browniana.	49
Figura 16 - Meccanismi di deposizione nel tratto respiratorio.....	50
Figura 17 - Meccanismi di deposizione elettrostatica e intercettazione.	52
Figura 18 - Deposizione di particelle nella regione extratoracica.....	54

Indice delle figure

Figura 19 - Deposizione di particelle nella regione tracheobronchiale.	54
Figura 20 - Deposizione di particelle nella regione bronchiale e alveolare.	55
Figura 21 - Deposizione di particelle nel tratto respiratorio.....	56
Figura 22 - Deposizione di particelle nelle varie regioni del tratto respiratorio, nel caso di un adulto sottoposto ad un'attività fisica leggera.	57
Figura 23 - Illustrazione del modello trumpet.	59
Figura 24 - Modello "multi-path". Deposizione di particelle nelle 5 zone: LU: lobo superiore sinistro, LL: lobo inferiore sinistro, RU: lobo superiore destro, RM: lobo medio destro, RL: lobo inferiore destro.	62
Figura 25 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione totale di particelle in condizioni di riposo e respirazione nasale	66
Figura 26 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nella regione extratoracica in condizioni di riposo e respirazione nasale	67
Figura 27 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nella regione tracheobronchiale in condizioni di riposo e respirazione nasale	67
Figura 28 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nella regione alveolare in condizioni di riposo e respirazione nasale.....	68
Figura 29 - Confronto tra i diversi modelli di deposizione nelle vie aeree in condizioni di riposo.	69
Figura 30 - Mappa del percorso	73
Figura 31 - Immagine e schema di funzionamento del Contatore Ottico di Particelle	78
Figura 32 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella mattina di pioggia del 3 maggio	79
Figura 33 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$)nel tratto TB nella mattina di pioggia del 3 maggio	80
Figura 34 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$)nel tratto AL nella mattina di pioggia del 3 maggio	80
Figura 35 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nella mattina di pioggia del 3 maggio	80
Figura 36 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella mattina di sole del 24 maggio	81
Figura 37 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina di sole del 24 maggio	81
Figura 38 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina di sole del 24 maggio	81
Figura 39 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nella mattina di sole del 24 maggio	82

Indice delle figure

Figura 40 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,3 - 0,5 nella mattina di pioggia del 03 maggio	82
Figura 41 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 - 0,7 nella mattina di pioggia del 03 maggio	83
Figura 42 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio	83
Figura 43 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio	84
Figura 44 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 - 3,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio	84
Figura 45 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 - 5,0 nella mattina di pioggia del 03 maggio	85
Figura 46 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 - 10 nella mattina di pioggia del 03 maggio	85
Figura 47 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) totale nella mattina di pioggia del 03 maggio	86
Figura 48 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,3 - 0,5 nella mattina di sole del 24 maggio	86
Figura 49 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 - 0,7 nella mattina di sole del 24 maggio	87
Figura 50 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella mattina di sole del 24 maggio	87
Figura 51 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella mattina di sole del 24 maggio	88
Figura 52 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 - 3,0 nella mattina di sole del 24 maggio	88
Figura 53 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 - 5,0 nella mattina di sole del 24 maggio	89
Figura 54 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 - 10 nella mattina di sole del 24 maggio	89
Figura 55 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) totale nella mattina di sole del 24 maggio	90
Figura 56 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella mattina del 28 maggio	91
Figura 57 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella mattina del 28 maggio	92

Indice delle figure

Figura 58 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL nella mattina del 28 maggio	92
Figura 59 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nella mattina del 28 maggio	93
Figura 60 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nel pomeriggio del 28 maggio	93
Figura 61 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nel pomeriggio del 28 maggio	94
Figura 62 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL nel pomeriggio del 28 maggio	94
Figura 63 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nel pomeriggio del 28 maggio	95
Figura 64 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,3 - 0,5 nella mattina del 28 maggio	95
Figura 65 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 - 0,7 nella mattina del 28 maggio	96
Figura 66 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella mattina del 28 maggio	96
Figura 67 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella mattina del 28 maggio	97
Figura 68 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nella mattina del 28 maggio	97
Figura 69 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nella mattina del 28 maggio	98
Figura 70 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 - 10 nella mattina del 28 maggio	98
Figura 71 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) totale nella mattina del 28 maggio	99
Figura 72 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,3 – 0,5 nel pomeriggio del 28 maggio	99
Figura 73 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 – 0,7 nel pomeriggio del 28 maggio	100
Figura 74 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 – 1,0 nel pomeriggio del 28 maggio	100
Figura 75 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 – 2,0 nel pomeriggio del 28 maggio	101
Figura 76 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nel pomeriggio del 28 maggio	101

Indice delle figure

Figura 77 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nel pomeriggio del 28 maggio.....	102
Figura 78 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 – 7,0 nel pomeriggio del 28 maggio.....	102
Figura 79 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) totale nel pomeriggio del 28 maggio	103
Figura 80 – Andamento della massa depositata (μg) nel tratto HA mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina.....	104
Figura 81 - Andamento della massa depositata (μg) nel tratto TB mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina.....	104
Figura 82 - Andamento della massa depositata (μg) nel tratto AL mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina.....	105
Figura 83 - Andamento della massa depositata (μg) totale mettendo a confronto il pomeriggio e la mattina.....	105
Figura 84 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	106
Figura 85 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	106
Figura 86 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	107
Figura 87 - Tasso di deposizione ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale nella domenica pomeriggio del 09 maggio	107
Figura 88 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,3 – 0,5 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	108
Figura 89 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,5 – 0,7 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	109
Figura 90 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 0,7 - 1,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	109
Figura 91 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 1,0 - 2,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	110
Figura 92 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 2,0 – 3,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	110

Indice delle figure

Figura 93 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 3,0 – 5,0 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	111
Figura 94 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) per la classe dimensionale 5,0 – 10 nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	111
Figura 95 - Massa depositata ($\mu\text{g}/\text{viaggio}$) totale nella domenica pomeriggio del 09 maggio.....	112
Figura 96 – Tasso di deposizione medio ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto HA	114
Figura 97 - Tasso di deposizione medio ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto TB.....	114
Figura 98 - Tasso di deposizione medio ($\mu\text{g}/\text{min}$) nel tratto AL.....	115
Figura 99 - Tasso di deposizione medio ($\mu\text{g}/\text{min}$) totale.....	115
Figura 100 - Deposizione media (μg) nel tratto HA.....	116
Figura 101 - Deposizione media (μg) nel tratto TB	116
Figura 102 - Deposizione media (μg) nel tratto AL	117
Figura 103 - Deposizione media (μg) totale	117

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Le sorgenti del particolato atmosferico.	17
Tabella 2 - Variazione delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici tra il 2000 e il 2010. Fonte: Elaborazione Legambiente dati ISPRA – SINAnet Rete del sistema Informativo Nazionale Ambientale.	23
Tabella 3 - Valori limite delle concentrazioni di PM10-D.M. 60/2002.....	27
Tabella 4 - PM10: classifica dei capoluoghi di provincia che hanno superato la soglia limite di polveri sottili in un anno. Fonte: Elaborazione Legambiente su dati ARPA Regionali.	28
Tabella 5 - PM2.5: Città che hanno superato il valore obiettivo di 25 µg/m ³ come media annuale. Fonte: Elaborazione Legambiente su dati ARPA Regionali.	29
Tabella 6 - Effetti acuti e cronici delle polveri sottili sulla salute umana.....	35
Tabella 7 - Caratteristiche delle regioni del tratto respiratorio secondo il modello di Weibel.	42
Tabella 8 - Valori rappresentativi dei parametri fisiologici.	46
Tabella 9 - Valori utili per il modello di Horsfield.....	72
Tabella 10 - Descrizione di ogni settore del percorso pedonale.....	74
Tabella 11 - Media, massimo e minimo del tempo di permanenza nei vari settori	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 12 - Giorni rilevati e le rispettive condizioni meteorologiche.	Errore. Il segnalibro non è definito.

RINGRAZIAMENTI

Ora sono sola, devo dimostrare di aver acquisito un bagaglio di competenze che mi permettono di conseguire l'agognata laurea magistrale; sono sola davanti ad una commissione che giudicherà la mia preparazione. E' l'ultimo impegno per tagliare l'ennesimo traguardo del percorso di formazione e poi il mio futuro sarà dedicato nel mettere a profitto quanto appreso. E' stato un percorso lungo, dalla scuola dell'infanzia e via via fino all'università; la mia carriera scolastica è stata costellata di periodi belli ma con qualche difficoltà. Ho imparato che apprendere è fatica, è costanza, è capacità di superare ostacoli che a volte sembrano molto difficoltosi. Ma, in questo mio percorso, ho avuto la fortuna di avere al mio fianco persone che mi hanno aiutato, stimolato e supportato. Maestre, professori e docenti, li ricordo ad uno ad uno, mi hanno insegnato le nozioni fondamentali del mio bagaglio culturale e non solo mi hanno insegnato anche ad affrontare le difficoltà legate alla mia crescita, dall'infanzia alla maturità.

In particolare un ringraziamento al professor Lonati Giovanni che con la sua conoscenza, la sua esperienza e i suoi preziosi consigli mi ha permesso di raggiungere questo traguardo. L'argomento da lui proposto mi ha permesso di unire la teoria ad un caso pratico, suscitando in me un maggior coinvolgimento nell'affrontare la tematica.

Ma dietro alle quinte ci sono e ci sono state delle persone che mi hanno sempre sostenuta, anche quando i risultati scolastici non erano dei migliori. Dedico questa mia laurea alla sempre presente mamma Lucia con la quale ho sempre avuto un rapporto confidenziale e di complicità, mi ha sempre capita e mi è stata vicina nei momenti di maggior difficoltà, un punto di riferimento. A papà Adriano un particolare grazie dal profondo del mio cuore per i suoi consigli ed incitamenti, a volte espressi in modo severi, ma che mi hanno sempre stimolata a dare il meglio; ha sempre creduto in me e mi ha sempre seguita nei momenti più difficili del mio percorso di formazione scolastica.

Michela, amica e sorella, con la quale ho condiviso molta parte del mio percorso scolastico e non solo.

Non posso dimenticare i miei nonni, Giuseppe e Severina, che con la loro semplicità mi hanno insegnato molto sotto l'aspetto caratteriale.

Ringraziamenti

Alle mie amiche e compagne universitarie con cui ho condiviso questo periodo accademico, in particolare a Gaia e Linda. Insieme ci siamo divertite nei momenti felici e ci siamo confortate e sostenute a vicenda nei momenti di difficoltà. Abbiamo condiviso una bellissima esperienza e questo rimarrà uno dei più bei ricordi della mia vita.

Un grazie particolare alle amiche di sempre, Gloria, Nomi, Roby ed Elisa che, pur con diversi interessi, hanno trovato il tempo per ascoltarmi e consigliarmi.

A Stefano, che con estrema pazienza ha sopportato i miei sbalzi di umore e le mie paranoie quando, sotto stress per un esame, mi ha sempre incoraggiata dicendomi che potevo farcela.