

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

DIEM

*Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche,
Nucleari, Aeronautiche e di Metallurgia*

TESI DI LAUREA

in

Laboratorio di sperimentazione sui motori a combustione interna M

**Studio, sviluppo e verifica sperimentale di sistemi per l'analisi della
combustione e la misura delle emissioni inquinanti di un motore
Diesel multijet**

CANDIDATO

Francesco Vigna

RELATORE

Chiar.mo Prof. Nicolò Cavina

CORRELATORI

Ill.mo Ing. Giorgio Mancini

Chiar.mo Prof Davide Moro

Ill.mo Ing. Corti Enrico

Chiar.mo Prof Ponti Fabrizio

Anno Accademico 2010/2011

Sessione III

Indice

Emissioni da motori diesel [1].....	5
Introduzione	5
Emissioni inquinanti	7
Ossido di azoto NO _x	8
Idrocarburi HC.....	9
Monossido di carbonio CO	10
Diossido di zolfo SO ₂	11
Ossido di diazoto N ₂ O.....	12
Idrogeno H ₂	13
Particolato PM	14
Normativa	26
Principi di misura degli inquinanti allo scarico	33
Misuratori non dispersivi ad infrarosso(NDIR).....	33
Analizzatori a ionizzazione di fiamma	34
Analizzatori a cheluminescenza.....	34
Misure di particolato e fumosità	35
Misure gravimetriche	39
Smoke meter [10].....	49
Opacimetro [9].....	55
Tecniche Fotoacustiche– Elettrostatiche – CPC.....	61
Laser induced incandescence [2, 9, 13]	77
Misuratore di pm allo scarico per uso on-board [14]	81
Altri metodi di misura [9].....	95
Confronto fra prodotti esistenti sul mercato	103
Motore FIAT 1.3 Multijet 16V [30]	157
Schemi elettrici principali motore fiat 1.3 jtd multijet.....	197
Descrizione impianto raffreddamento motore FIAT 1.3 JTD multijet.....	211
Opacimetro AVL439 [24 ,31]	219
Bibliografia	233

Capitolo 1

Emissioni da motori diesel [1]

Introduzione

Negli anni con l'avvento delle tecnologie ad un costo più vantaggioso e con l'aumentare della popolazione, i processi di combustione necessari alle attività economiche e sociali sono aumentati vertiginosamente e di conseguenza sono aumentate le sostanze inquinanti in atmosfera. Le attività che utilizzano processi di combustione sono le attività industriali, il riscaldamento degli edifici, l'utilizzo dei mezzi di trasporto. Anche in natura avvengono processi di combustione che causano emissioni di sostanze inquinanti come le eruzioni vulcaniche, fuoriuscite di gas dal sottosuolo, incendi, fenomeni di fermentazione di materiale organico, ecc. e non sempre si può evitare che queste sostanze vadano nell'ambiente.

Le emissioni inquinanti sono all'origine di alcuni dei problemi ambientali considerati prioritari ormai in tutte le sedi nazionali e internazionali: cambiamenti climatici, buco dell'ozono nella stratosfera, aumento dell'ozono troposferico, acidificazione del suolo.

Tra le sostanze sotto accusa abbiamo l'anidride carbonica (CO_2) che a rigore deve essere considerato un climalterante (e non un inquinante in senso stretto), gas a effetto serra che contribuisce di più al riscaldamento della terra. Di recente con l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto anche l'Italia si è impegnata a contenere l'emissione di anidride carbonica. Gli ossidi d'azoto (NO_x), gli ossidi di zolfo (SO_x) e l'ammoniaca (NH_3) sono responsabili delle piogge acide. I composti organici volatili (COV) e gli ossidi di azoto, sono le cause principali dell'inquinamento fotochimico dell'aria. Il monossido di carbonio (CO) che interferisce sull'assorbimento di ossigeno da parte dei globuli rossi, ha un effetto negativo sulla salute umana. Il particolato (PM) oltre a

produrre annerimento degli edifici, riduzione della visibilità e irritazioni alle mucose degli occhi e del naso, è cancerogeno ed è quindi estremamente pericoloso per la salute umana.

Le emissioni di CO₂ sono generate dalle attività legate ai trasporti, dalle centrali elettriche e dai processi industriali. I trasporti, le centrali elettriche, i riscaldamenti e gli impianti di combustione industriale producono SO_x e NO_x. Le attività agricole, ed in particolare l'uso eccessivo di fertilizzanti, sono la causa principale della produzione di emissioni di ammoniaca. Nelle città il particolato è generato dal riscaldamento civile e domestico e soprattutto dal traffico veicolare. Infatti il veicolo origina particolato (PM10, PM2,5) non solo bruciando combustibile che, per le caratteristiche chimiche e fisiche che lo contraddistinguono, può essere chiamato anche "aerosol primario", ma anche dall'usura degli pneumatici, dei freni e dall'usura del manto stradale. Le emissioni di COV sono il risultato di processi di non-combustione, dell'uso di solventi e del traffico stradale. Gli impianti di combustione di attività residenziali, commerciali ed industriali e il traffico veicolare sono invece l'origine delle emissioni di CO.

Nell'Unione Europea e in Italia il 40% del consumo di energia per la mobilità è attribuibile al trasporto urbano che dipende, allo stato attuale, per il 95% dal petrolio e da un rapporto ACI del 2004, il totale dei veicoli in Italia con motori a combustione interna si aggirava nel 2003 intorno i 50 milioni. Le autorità legislative, visto che il trasporto urbano è fonte di grande inquinamento, impongono valori sempre più restrittivi sulle emissioni dei veicoli e se il parco delle autovetture ha un'età media di 8 anni, il parco autobus circolante in Italia è passato dai 7,7 anni del 1988 agli attuali 14,4 di età media. L'età media dei bus è alta perché alti sono i costi che le Regioni devono sostenere per la loro sostituzione con bus di tecnologia più avanzata e meno inquinanti.

Le Autorità Governative impongono comunque di adottare dei sistemi in grado di ridurre le emissioni di questi bus vecchi e inquinanti, in attesa di una loro sostituzione, e a livello nazionale c'è un grosso interesse a trovare dei sistemi after-market per abbattere le emissioni inquinanti da adottare sui veicoli esistenti, senza che questi vadano ad inficiare le prestazioni motoristiche dei propulsori e che non richiedano elevati costi per l'applicazione e la manutenzione successiva. Per after-market si

intende qualunque dispositivo, combustibile o additivo applicati o introdotti al motore dopo la sua uscita dalla fabbrica.

Di seguito una descrizione degli inquinanti emessi dai motori diesel.

Emissioni inquinanti

Il motore diesel, come tutti i motori a combustione interna, converte parte dell'energia chimica del combustibile in energia meccanica. Il combustibile tradizionale del motore diesel è il gasolio: una miscela di idrocarburi che teoricamente dovrebbe produrre durante la combustione solo anidride carbonica (CO_2) e vapore d'acqua (H_2O) le cui concentrazioni dipendono dalla tipologia del motore, dal rapporto aria-combustibile e variano nei seguenti range:

CO_2 tra 2 ÷ 12%

H_2O tra 2 ÷ 12%

O_2 tra 3 ÷ 17%

N_2 valori di equilibrio

In un processo di combustione reale, il motore produce sostanze che possono essere tossiche per gli esseri umani e avere un effetto negativo sull'ambiente; questi processi includono combustione non completa del combustibile, reazioni tra diversi componenti sotto condizioni di temperatura e pressioni elevate, combustione di olio lubrificante, combustione di additivi dell'olio e del lubrificante e combustione dello zolfo contenuto nel gasolio. La concentrazione totale di questi inquinanti nei motori di nuova tecnologia è in genere una piccola frazione percentuale.

Gli inquinanti regolamentati allo scarico dei motori diesel in Europa, in America e in altri paesi sono:

Monossido di carbonio (CO)

Ossidi di azoto (NO_x)

Idrocarburi totali (THC)

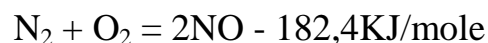
Particolato (PM)

Anche se le quantità dipendono dal tipo di motore e dalle condizioni di funzionamento, gli ordini di grandezza di questi inquinanti per i motori ad accensione comandata e per quelli ad accensione per compressione sono: CO che varia tra 1 e 2% o 200g/kg di combustibile; NO_x che variano tra 500 e 1000ppm o 20 g/kg di combustibile; gli HC oscillano intorno ai 3000ppm o 25 g/kg di combustibile; per i motori diesel invece abbiamo anche il particolato che varia tra 0,2 e 0,5% per massa di gasolio consumato.

Di seguito viene riportata una descrizione degli inquinanti regolamentati.

Ossido di azoto NO_x

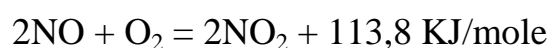
Gli ossidi di azoto che fanno parte degli inquinanti gassosi regolamentati, includono gli NO e gli NO₂. Si formano in camera di combustione, nel fronte di fiamma e nei gas bruciati ad alta temperatura grazie alla reazione di azoto e ossigeno.



Quando durante la fase di espansione i gas di scarico si raffreddano, la concentrazione di ossido di azoto non cambia e resta in eccesso rispetto alla condizione di equilibrio.

Nei motori aspirati il 95% degli ossidi di azoto sono composti da NO e solo il 5% di NO₂, invece nei motori sovralimentati, gli NO₂ crescono intorno al 15%.

L'NO infatti può essere facilmente ossidato dall'ossigeno e diventare NO₂ in condizioni ambientali:



La reazione, spontanea ma non immediata, avviene attraverso la diluizione dei gas di scarico in atmosfera. Il diossido di azoto è un gas

tossico di colore rosso - grigio e ha un odore irritante, è molto reattivo e ha forti proprietà ossidative.

Accanto al particolato gli NOx sono gli inquinanti critici dei motori diesel.

Idrocarburi HC

Altro inquinante gassoso del motore diesel sono gli idrocarburi, composti da n atomi di carbonio e m atomi di idrogeno (C_nH_m). Questi sono un miscuglio di idrocarburi che derivano dal combustibile e dall'olio lubrificante. Gli idrocarburi del combustibile però sono caratterizzati da una catena di carbonio più breve rispetto alla catena di carbonio dell'olio lubrificante che è più pesante. Si originano in camera di combustione quando la fiamma congela sulle pareti (fenomeno del quenching), quando la fiamma incontra zone in cui c'è un eccesso d'aria tale da non far iniziare la combustione o la fa iniziare ma non la fa completare e vicino l'iniettore alla fine dell'iniezione.

Le normative fissano limiti agli idrocarburi totali nei gas (THC) o agli idrocarburi non metanici (NMHC, Non-Methane-HydroCarbons). Nella categoria degli inquinanti non metanici si esclude la presenza del metano CH_4 , vista la scarsa reattività chimica di tale sostanza rispetto agli idrocarburi a catena più lunga. Poiché alcuni standard di emissione considerano i NMHC come inquinante regolamentato, l'EPA – (Environmental Protection Agency) ha introdotto un metodo analitico per ottenerli [37, 38]. La normativa 40 CFR 86.007-11[39], Emission standards and supplemental requirements for 2007 and later model year diesel heavy-duty engines and vehicles, infatti raccomanda di eliminare il 2% dal valore misurato di THC per ottenere i NMHC. Questa metodologia risulta essere non valida per i motori alimentati a gas naturale.

$$NMHC = THC - 2\% THC$$

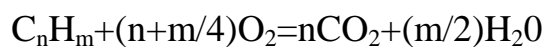
Gli idrocarburi, specie quelli a catena lunga, possono essere irritanti, alcuni di loro come il benzene, sono tossici e cancerogeni. Anche le

aldeidi, idrocarburi derivati, hanno un odore che irrita, la formaldeide che ne fa parte è stata classificata cancerogena.

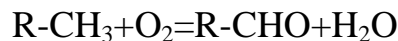
Gli idrocarburi emessi da un motore diesel si dividono in fase gassosa e in fase liquida o assorbita (particolato), però non c'è una chiara distinzione tra le due fasi. Come linea guida, vengono considerati volatili i componenti con una tensione di vapore di 0,1mmHg in condizioni standard (20°C, 760mmHg). La parte volatile degli idrocarburi, che contengono specie aromatiche e alifatiche con un valore approssimato di 24 atomi di carbonio nelle loro molecole, sono gli inquinanti gassosi regolamentati e la loro concentrazione nei gas di scarico dei motori diesel varia tra 20 e 300ppm.

La parte non volatile degli idrocarburi fa riferimento alla SOF (frazione solubile organica), descritta nella sezione del particolato.

Gli idrocarburi possono essere ossidati dall'ossigeno e produrre CO₂ e acqua, questa è una reazione sfruttata nei sistemi di abbattimento delle emissioni.



In condizioni particolari, gli idrocarburi formano anche aldeidi e chetoni.

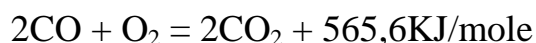


In atmosfera, gli idrocarburi subiscono reazioni fotochimiche con gli NO_x dando luogo a smog e aumento del livello di ozono.

Monossido di carbonio CO

Il monossido di carbonio è un gas tossico inodore e incolore, la cui densità è circa quella dell'aria. Ad alta concentrazione è infiammabile e bruciando produce una fiamma blu luminosa.

Abitualmente l'emissione dai motori diesel è molto bassa e, ad elevata temperatura o su un catalizzatore ossidante, il CO può essere ossidato dall'O₂ per formare la CO₂.



La reazione produce calore e nel caso in cui i gas di scarico siano ricchi di CO, questi possono far produrre al catalizzatore ossidante un notevole aumento di temperatura. Un'ossidazione adiabatica dell'1% di CO nel flusso dei gas di scarico, fa aumentare la temperatura di circa 100°C.

E' prodotto in camera di combustione e il processo di ossidazione continua fino a che, durante la fase di espansione, la temperatura dei gas di scarico scende sotto un certo valore.

Diossido di zolfo SO₂

Il diossido di zolfo è un gas originato dallo zolfo contenuto nel combustibile e nell'olio lubrificante.

Questo gas incolore con caratteristiche irritanti, può essere ossidato a SO₃ che è il precursore dell'acido solforico responsabile del solfato nel particolato. La maggioranza dello zolfo nei gas di scarico, esiste come SO₂, solo il 2-4% di zolfo nel combustibile viene emesso come SO₃ dal motore.

La concentrazione di SO₂ può essere calcolata dal consumo di combustibile e dal suo tenore di zolfo, infatti facendo alcuni calcoli, se il rapporto aria combustibile è 20, tipico valore per un diesel che opera a pieno carico con un valore di consumo di 225 g/kWh, si può notare dal grafico che un combustibile con 500 ppm di S produce circa 20 ppm di SO₂. Quando il livello di zolfo nel combustibile decresce, diventa importante per l'SO₂ lo zolfo contenuto nell'olio lubrificante. Di solito l'olio lubrificante contiene 4÷10 ppm di zolfo dovuti alla presenza degli additivi.

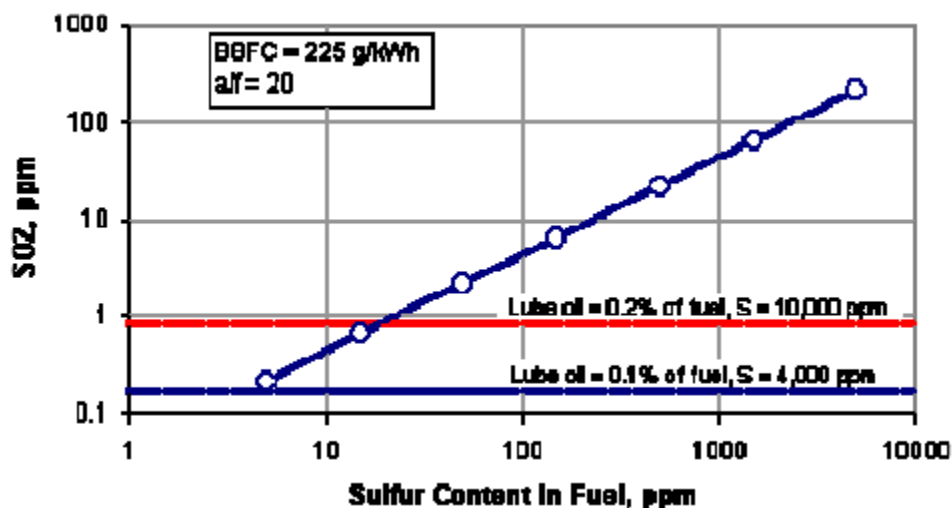


Figura 1 - Emissione di SO₂ in funzione del contenuto di zolfo del combustibile

La quantità di consumo di olio, in letteratura si dice che è circa lo 0,075% di combustibile, in condizioni reali, oscilla tra 0,1 e 0,2% di combustibile. Delle due linee orizzontali, quella più bassa, che corrisponde ad un consumo di olio pari allo 0,1% di combustibile con contenuto di S di 4ppm, produce SO₂ confrontabile a quello associato a un combustibile con 5ppm di zolfo.

Lo zolfo nel combustibile è anche responsabile del particolato dovuto ai solfati, infatti con un alto valore di zolfo 0,25% di S nel combustibile, si genera un 0,067 g/kWh di particolato da solfati.

Dispositivi catalitici, catalizzatori ossidanti o filtri per particolato catalizzati possono convertire SO₂ in SO₃ e successivamente incrementare il particolato.

Ossido di diazoto N₂O

L'ossido nitroso è anche conosciuto come il gas esilarante, ha un odore dolce con caratteristiche narcotiche per l'uomo. Ha un notevole impatto ambientale per le conseguenze sull'effetto serra, così come l'attacco allo strato di ozono.

E' tra i gas non regolamentati anche se chimicamente è un ossido di azoto, l'ossido nitroso è stato escluso dagli ossidi di azoto regolamentati

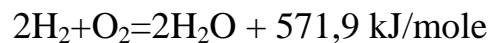
NO_x. Un motore diesel produce circa 3ppm contro i 12÷35ppm di una macchina a benzina equipaggiata con un catalizzatore a 3 vie.

Alcuni sistemi di controllo dei gas di scarico possono far incrementare i valori di N₂O, però c'è una notevole attenzione da parte dei produttori di tali dispositivi a mantenere basso i valori di questo gas.

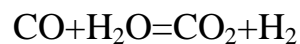
Idrogeno H₂

L'idrogeno è un gas incolore, non ha un diretto impatto ambientale o effetti sulla salute degli uomini, ma ha un ruolo nelle reazioni nei sistemi di controllo dei catalizzatori e in alcuni catalizzatori.

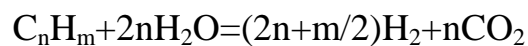
Normalmente in condizioni di funzionamento magro, l'idrogeno non è presente nei gas di scarico dei diesel. La reattività chimica dell'idrogeno cresce al crescere della temperatura, infatti se questa reazione è estremamente lenta a temperatura ambiente, cresce notevolmente quando il gas viene riscaldato a 180°C diventando esplosivo con un ulteriore riscaldamento a 450°C.



L'idrogeno può essere generato nei catalizzatori come reazione del vapore d'acqua e il monossido di carbonio:



e dalla reazione del vapore d'acqua con gli idrocarburi:



Non esistono in letteratura informazioni sull'idrogeno nei gas di scarico dei diesel o a valle dei sistemi di controllo dei gas di scarico.

Particolato PM

Il particolato (PM o DPM), forse il più importante a livello di emissione, è responsabile del fumo nero che tradizionalmente associamo ai veicoli alimentati a gasolio. Nonostante ci siano tante ricerche, né la formazione di PM nel cilindro motore, né le sue proprietà chimico fisiche o effetti sulla salute umana sono completamente conosciuti. Tuttavia, sulla base di quello che già si conosce, il PM è percepito come il più dannoso prodotto dei motori diesel, è regolamentato in tutto il mondo e insieme agli NO_x è oggetto di attenzione dei produttori di tecnologie per il controllo delle emissioni.

La composizione del particolato carbonioso è influenzata da come esso viene campionato. Le condizioni fisiche sotto cui la misura del particolato è fatto, sono critiche perché le specie emesse sono instabili e possono alterarsi; le distribuzioni di misure delle particelle cambiano (attraverso delle collisioni), le particelle subiscono delle interazioni chimiche con altre specie chimiche presenti nel gas di scarico e alcune volte durante lo stesso processo di misura.

In Europa si sta cercando di sviluppare un metodo di misura basato sul numero di particelle emesse, piuttosto che la massa, da includere in futuro all'emissione standard di PM come massa.

Il metodo usato in molti laboratori per misurarne la concentrazione, come specificato dalle procedure dell'EPA (Environmental Protection Agency) e da procedure standard [37, 38, 39, 40] in molti paesi, è quello di campionare il particolato sul filtro dopo averlo diluito con aria pulita e raffreddato alla temperatura max di 52°C. I dispositivi usati in laboratori per fare questa diluizione dei gas di scarico, sono conosciuti come *tunnel di diluizione*. Con questa procedura si simula la condizione cui si viene a trovare il particolato diesel che uscendo dal veicolo, si diluisce con l'aria ambiente. I filtri di fibra di vetro che sono usati per campionare il PM, catturano le particelle solide così come goccioline liquide, o miste che condensano dai gas di scarico durante il processo di diluizione. Poiché i rapporti di diluizione atmosferici di PM (circa 500-1000) sono molto più alti di quelli usati nei tunnel di diluizione dei laboratori, la simulazione della diluizione atmosferica è lontana dalla realtà.

Altri strumenti usati per la misura come concentrazione in massa del particolato, sono l'*opacimetro*, che misura la quantità relativa di luce che passa attraverso i gas di scarico e il *fumimetro* che misura la luce riflessa da un raggio che incide sul particolato raccolto su un nastro di carta. Queste due tecniche che non misurano direttamente la massa del particolato, determinano l'emissione di fumo visibile, dando un'indicazione della massa emessa e per i motori diesel leggeri e pesanti, la prova in accelerata libera è regolamentata.

Il particolato ha una distribuzione di misura bimodale, è un mix di particelle emesse nella modalità di nucleazione e di accumulazione.

Le particelle “nuclei” sono molto piccole, il loro diametro va tra 0,007 a 0,04 micrometri. Studi recenti ridefiniscono il nucleo come particelle che sono ancora più piccole, da 0,003 a 0,03 micrometri, facendo il confronto con alcune molecole più grandi.

La forma delle particelle non è generalmente sferica ma irregolare, la classificazione granulometrica del particolato richiede che sia definita una grandezza geometrica caratteristica che rappresenti la dimensione media di ogni singola particella. Questa grandezza geometrica prende il nome di *diametro equivalente*, ossia il diametro di una particella sferica che esibisce un comportamento dinamico (velocità, traiettoria) simile sotto l'azione di una forza elettrostatica, centrifuga e gravitazionale. A secondo dell'apparecchiatura utilizzata per misurare la granulometria, una particella non sferica può essere caratterizzata con diametri equivalenti: *diametro geometrico*, *diametro aerodinamico*, *diametro di mobilità elettrica*.

La natura delle particelle “nuclei” si sta ancora studiando in laboratorio. E' risaputo che le particelle nucleo sono particelle volatili formate da idrocarburi e acido solforico condensato che si sono formati dai precursori gassosi quando la temperatura decresce nel condotto di scarico e dopo il mescolamento con l'aria fredda che si ha in laboratorio o con l'aria ambiente. Queste particelle volatili sono molto instabili; la loro concentrazione dipende fortemente dalle condizioni di diluizione, dalla quantità di diluizione e tal tempo di residenza nel condotto. Una piccola quantità di tali particelle possono essere formate da particelle solide, di carbone, o cenere metallica dagli additivi degli oli lubrificanti.

Le particelle in modo nucleo che sono la maggioranza, circa il 90%, sono una piccola parte della massa di PM.

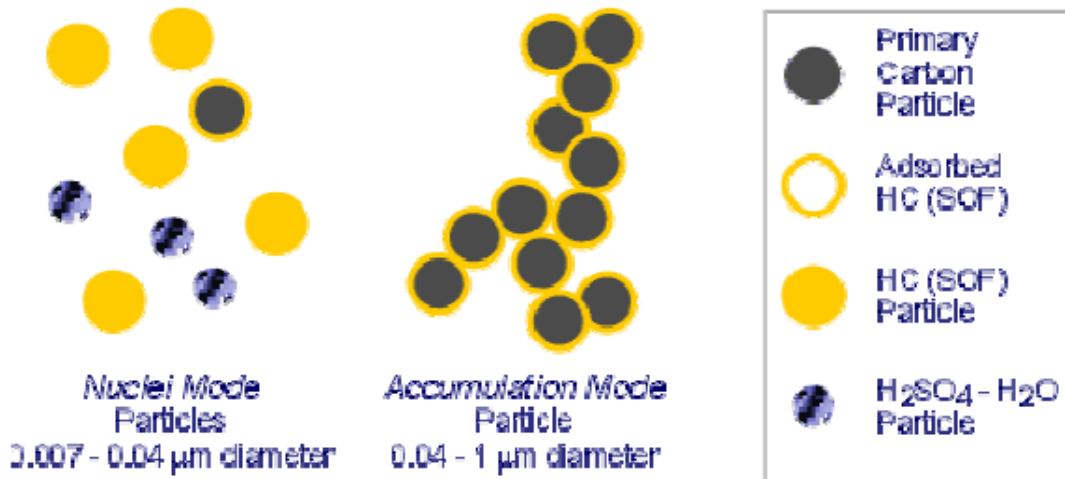


Figura 2 - Composizione del particolato diesel

Le particelle in modo accumulazione sono formate da agglomerati di particelle di carbone e altro materiale solido, accompagnato da gas assorbiti e vapori condensati. Esse sono composte principalmente da carbone solido e da idrocarburi condensati pesanti, ma possono anche includere composti di zolfo, ceneri metalliche, metalli dovuti all'usura, etc.

Il diametro delle particelle in modo accumulazione è compreso tra 0,04 e 1 micrometro con una massima concentrazione tra 0,1 e 0,2 micrometri. La maggiore massa di particolato emesso è composta da particelle agglomerate, ma sono solo una piccola quantità del totale delle particelle intese come numero.

Composizione del particolato diesel

Il PM è tradizionalmente diviso in tre frazioni che possono essere inoltre suddivise come segue:

1. Frazione solida (SOL)

Matrice carboniosa

Ceneri (metalli)

2. Frazione solubile organica (SOF)

Materiale organico derivato da olio lubrificante del motore

Materiale organico derivato dal combustibile

3. Particolato dai solfati (SO₄)

Acido solforico

Acqua

In accordo con questa classificazione, il totale del particolato (TPM) può essere definito come:

$$\text{TPM} = \text{SOL} + \text{SOF} + \text{SO}_4$$

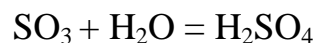
Le particelle che lasciano il motore sono composti formati principalmente in fase solida (SOL). Le particelle che lasciano la camera di combustione possono essere nucleo o agglomerati di particelle e nel condotto di scarico, in dipendenza dalla temperatura, le particelle subiscono una limitata ossidazione e un'ulteriore fase di agglomerazione. Alcune di queste si depositano sulle pareti del tubo di scarico, per effetto del gradiente di temperatura.

Altri precursori del particolato sono gli idrocarburi, ossidi di zolfo e acqua e vapori presenti nel tubo di scarico caldo.

Un'altra sorgente di materiale solido nei gas di scarico sono le ceneri metalliche, componenti derivati dagli additivi degli oli lubrificanti, così come dall'usura del motore. La nucleazione dovuta alla cenere volatile si pensa si formi durante la fase di espansione nel cilindro del motore. Il nucleo di cenere può agglomerarsi e formare particelle in fase di accumulazione. In proporzione la cenere nei nuovi motori sta crescendo, vista la minore presenza di particolato carbone e quindi una minore massa PM.

Le proprietà chimico fisiche del particolato cambiano quando il gas di scarico entra nel tunnel di diluizione, si mescola con l'aria e viene raffreddato sotto i 52°C. Gli idrocarburi pesanti, che sono derivati dall'olio lubrificante e dal combustibile non bruciato, condensano e sono assorbiti sulla superficie delle particelle di carbone formando la parte organica del PM (SOF). Se la quantità di particelle di carbone che possono fare da spugna per gli idrocarburi è insufficiente, allora questi si raccoglieranno formando un incremento della parte volatile (liquida) delle particelle in modo nucleo. Nel tunnel di diluizione, il totale degli idrocarburi della camera di combustione, viene diviso fra particolato (SOF) e fase gassosa degli idrocarburi (almeno in teoria; in pratica una parte degli idrocarburi dello scarico può essere misurato e giustificato due volte: nella fase di particolato e nella fase gassosa).

L'acido solforico nei gas di scarico dei motori diesel è derivato dal contenuto di zolfo. Come abbiamo detto circa il 5% del contenuto di zolfo nel combustibile lascia la camera di combustione sotto forma di SO₃ e in presenza di acqua reagisce per produrre acido solforico:



Il particolato dei solfati si forma nel tunnel di diluizione attraverso un processo di eteronucleazione dalle molecole di H₂SO₄ e acqua e si deposita sul filtro insieme al materiale carbonioso durante la misura della massa di PM. Si è visto che il particolato da solfati, esistendo nella fase di accumulazione e mescolata con carbone e materiale SOF organico, è anche un'importante sorgente di particelle in fase nucleo (H₂SO₄-H₂O).

La composizione del PM varia molto a secondo della tecnologia del motore, del tipo di prova e, nel caso del particolato da solfati, dal contenuto di zolfo nel combustibile. Un esempio di composizione di PM da un motore diesel heavy-duty è illustrato in figura [1].

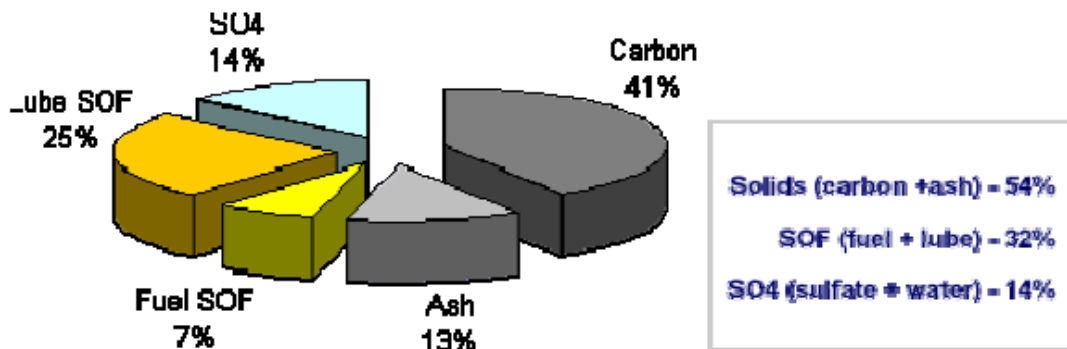


Figura 3 - Composizione del particolato per un motore diesel HD

Il particolato diesel include come parte del SOF, altre classi di idrocarburi pesanti o idrocarburi derivati, materiale di speciale interesse, per esempio gli idrocarburi policiclici aromatici (PAH) o le diossine. La concentrazione di queste sostanze è bassa in confronto al PM. Queste diventano invisibili se le si mette a confronto con gli altri inquinanti, però hanno un'elevata attività biologica allo stato puro e la presenza di basse concentrazioni di questi componenti nei gas di scarico, preoccupano.

Frazione solida

Carbone

La frazione solida del particolato diesel è composta principalmente da carbonio, alcune volte riferita anche come “carbonio inorganico”. Questo carbonio non lega chimicamente con altri elementi ed è chiamato carbone nero o *soot-fuliggine*, sostanza responsabile del fumo nero delle emissioni. La frazione carboniosa del PM risulta dal processo di combustione eterogeneo nel motore diesel, dove i precursori delle particelle solide sono formati nella fiamma premiscelata e diffusiva. Gli atomi di carbonio (il soot delle particelle) che hanno una struttura

esagonale, si mettono insieme formando una struttura platelet-like. Questi platelets si raggruppano in strati, da due a cinque e vanno a formare cristalliti di grafite a forma di foglie. Le cristalliti sono impacchettate in modo casuale con i loro piani generalmente paralleli alla faccia della particella principale (per esempio in modo nucleo).

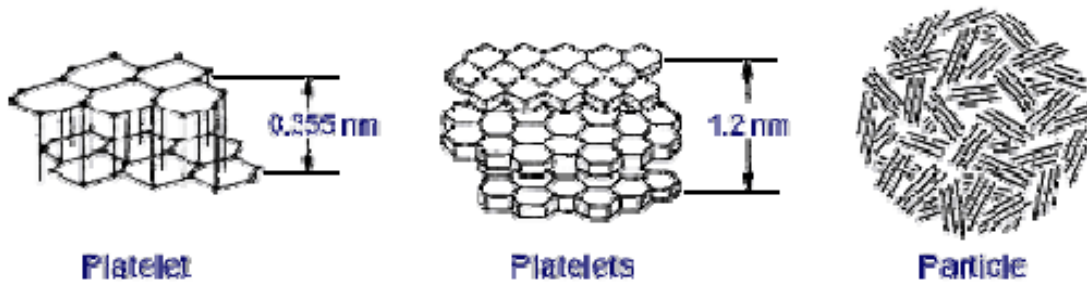


Figura 4 - Strutture primarie delle particelle carboniose

Le principali particelle agglomerate presenti nel cilindro, viaggiano attraverso il sistema di scarico e vengono poi scaricate nell'atmosfera. La struttura di un agglomerato diesel è mostrato nella figura 6 grazie a un microscopio (TEM - Transmission Electron Microscope). La particella singola dell'agglomerato è formata da numerosi cristalliti di grafite, pochi nanometri in misura che formano una struttura a cipolla come in figura 5.

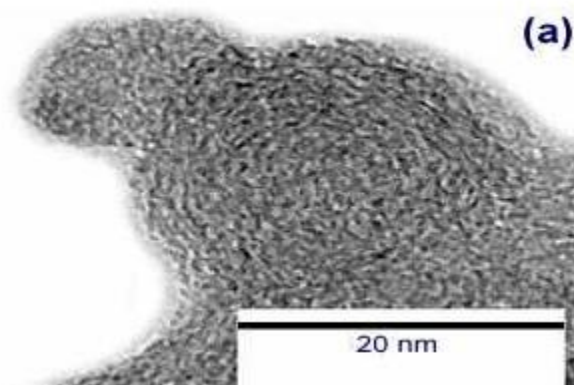


Figura 5 - Struttura di una particella con microscopio TEM

Dalla figura 6 invece si nota l'organizzazione delle particelle che formano una struttura a grappolo formata da centinaia di particelle a forma di nucleo. Queste particelle, che con buona approssimazione sono di forma sferica quando formano l'agglomerato, sono molto lontano dall'essere sferiche. L'agglomerato di particelle che spesso formano una

catena di non ben definito diametro, fa sì che sia difficile avere una misura precisa delle particelle, il cui diametro varia a seconda del principio di misura utilizzato.

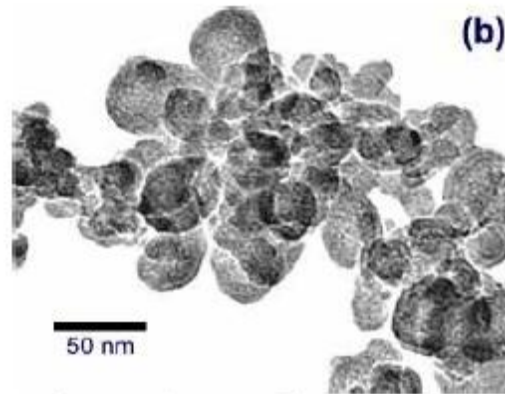


Figura 6 - Struttura di un agglomerato di particelle con microscopio TEM

Ceneri

Un altro componente della frazione solida del PM è la cenere metallica. Nei nuovi motori si produce meno particolato carbonioso, ma riveste una certa importanza il crescere dell'emissione del particolato non carbonioso. Da uno studio fatto su motori heavy-duty diesel americani costruiti dopo il 1994, si nota la presenza di più del 10% di cenere, valore che aumenta con i motori più nuovi.

L'emissione di cenere, riceve molta attenzione per chi produce filtri per particolato, che devono resistere a componenti corrosivi di cenere. In generale la cenere dei diesel contiene:

Solfati, fosfati, ossidi di calcio (Ca), zinco (Zn), magnesio (Mg) e altri metalli che si sono formati in camera di combustione bruciando gli additivi degli oli lubrificanti. Queste sostanze chimiche sono presenti negli oli come detergenti, dispersanti, acidi neutralizzatori, antiossidanti, inibitori della corrosione, antiusura etc. La quantità di cenere prodotta dall'olio dipende dal contenuto di cenere nell'olio (1,5% circa) e dal suo consumo che è di circa 0,1-0,2% del consumo di combustibile.

Le impurità di ossidi metallici risultanti dall'usura dei motori, sono portate dentro la camera di combustione dall'olio. Questi includono: ferro, rame, cromo e alluminio.

Gli ossidi di ferro sono dovuti alla corrosione del sistema di scarico. Gli ossidi che si ritrovano dipendono dal tipo di metallo che costituisce i condotti, per cui si possono trovare anche cromo, nichel e alluminio.

Inoltre gli additivi metallici dei combustibili sono usati per facilitare la rigenerazione dei filtri di particolato, quindi i gas di scarico conteranno le ceneri degli ossidi includendo cerio, ferro e stronzio. Gli additivi metallici possono far nascere un elevato numero di particelle in modo nucleato.

Frazione organica solubile

Sono gli idrocarburi assorbiti sulla superficie delle particelle di carbone e/o presenti sotto forma di fini goccioline formando la frazione solubile organica (SOF) del particolato diesel. L'aggettivo solubile deriva dalla tecnica adottata che utilizza solventi per isolare la frazione organica del particolato. Alcune volte questa frazione è anche riferita come VOF (frazione organica volatile), misurata dall'evaporazione sotto vuoto, ma è comunque legata al SOF.

Alla temperatura dei gas di scarico, molti dei componenti SOF esistono come fase vapore, specialmente ad alto carico e quindi ad alta temperatura. Questa trasformazione del SOF è da ricordare per capire i cambiamenti che accadono al particolato in alcuni dispositivi after-market come catalizzatori ossidanti o filtri di particolato.

La quantità di SOF nel totale di PM, varia tra motore e motore. I particolati con basso contenuto di SOF, sono chiamati particolati secchi. Quelli ad alto contenuto di SOF sono chiamati particolati umidi. Nei particolati umidi la frazione organica può costituire il 50% del totale di PM, sotto forma di idrocarburi assorbiti sulla superficie delle particelle.

Nel particolato secco, il SOF contenuto può essere meno del 10%. Solitamente il SOF è più alto quando il carico è basso e le temperature in camera di combustione sono basse, quindi non avviene una completa combustione dell'olio che entra in camera di combustione. In figura 7 sono illustrate con cerchi il totale di PM e la torta interna al cerchio indica il contenuto di SOF e la parte solida + SO₄ in alcune condizioni di funzionamento stazionarie di un motore turbo diesel di 2,8 litri.

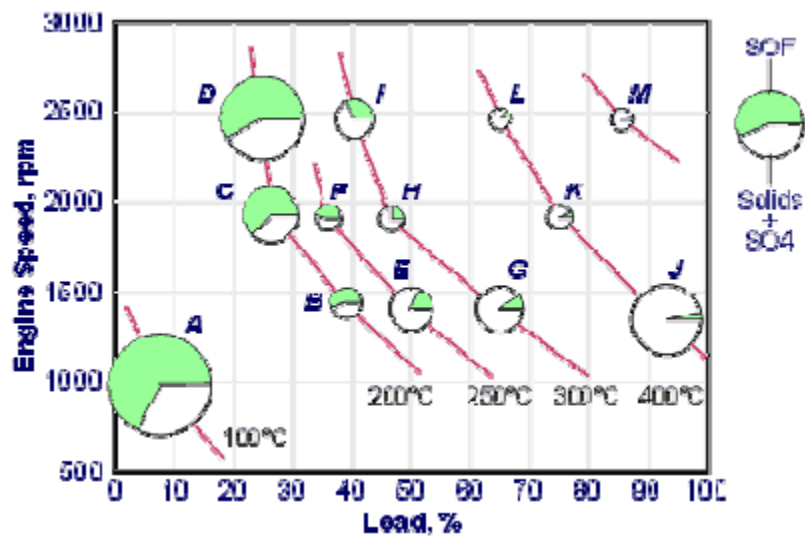


Figura 7 - Composizione di un particolato in differenti condizioni di funzionamento

Il motore due tempi ha un più alto valore di SOF rispetto a quello 4 tempi. Le fluttuazioni di SOF, in relazione alla tecnologia del motore e in relazione al ciclo di prova, possono influenzare lo sviluppo di alcuni dispositivi per il controllo del particolato, poiché queste particelle si comportano diversamente nei catalizzatori ossidanti e nei filtri di particolato.

Idrocarburi policiclici aromatici

La frazione SOF dei gas di scarico contiene molti dei policiclici aromatici (PAH) e nitro-PAHs. I PAHs, Polycyclic aromatic hydrocarbons, sono idrocarburi aromatici con due o più (5 o 6) anelli di benzene uniti in più o meno classi di forme. Questi preoccupano molto per le loro caratteristiche mutevoli e in alcuni casi con caratteristiche cancerogene. Rispetto agli anni 80, in cui c'erano moltissime pubblicazioni in merito, oggi ci sono meno ricerche sui PAHs. Comunque questi componenti sono ancora studiati dalle agenzie di controllo della qualità dell'aria e in USA l'EPA, Environmental Protection Agency, la definisce come aria tossica.

L'EPA introduce il termine Materia Policiclica Organica (POM), definita come una classe di componenti dell'aria tossici con più di un anello di benzene e un punto di ebollizione di 100°C e più. Il POM visto come classe è alquanto simile ai componenti del PAH; ha un gruppo di sette idrocarburi policiclici aromatici, tutti identificati come probabili responsabili del carcinoma umano e spesso sono usati dall'EPA come surrogati dell'intero gruppo dei POM.

I PAHs sono divisi in fase gas e in fase di particolato. I componenti più dannosi dei quattro o più anelli possono essere trovati quasi esclusivamente nella frazione organica (SOF) del particolato.

I PAHs sono presenti nel combustibile diesel, con una concentrazione tra 1,5 e 2,5%. Alcuni di loro, 0,2 ÷ 1% del totale presente nel combustibile, sopravvivono alla combustione e quindi si ritrovano nel gas di scarico. Un altro fenomeno che accade nel motore è la formazione dei nitroderivati dei PAHs dovuto all'alta concentrazione di NOx.

Particolato da solfati

I particolati da solfati sono composti principalmente da acido solforico idratato e sono maggiormente liquidi. L'acido e l'acqua in fase vapore producono nuclei di molecole, che poi crescono in una forma più stabile di nucleo quando si trovano nel rapporto 8:3 di acqua e acido solforico. Si pensa che le particelle di solfato come particolato siano separate dal carbone e siano presenti nei gas di scarico come particelle in forma di nucleo.

La formazione di particelle nel tunnel di diluizione dipende dalla pressione del vapore d'acqua e dall'acido. Queste sono funzione anche di:

Livello di zolfo nel combustibile;

Conversione di zolfo del combustibile a SO_3 ;

Rapporto aria /combustibile;

Temperatura del tunnel di diluizione;

Umidità relativa del tunnel di diluizione.

La variabilità di campionamento può essere così minimizzata mantenendo una costante umidità relativa e usando un livello costante di zolfo nel combustibile. Dovrebbe essere notato come il campionamento oggi non ha alcuna procedura che richiede di mantenere costante l'umidità dell'aria di diluizione, mentre secondo la teoria dell'eteronucleazione, la quantità di solfato particolato nucleato dipende fortemente da quel parametro.

Oltre all'acido solforico, il particolato da solfati può anche includere sali di solfato. La maggior quantità di sali è il solfato di calcio CaSO_4 che si può formare dalla reazione dell'acido solforico e calcio che deriva dagli additivi dell'olio lubrificante. Vari solfati possono essere prodotti dalla reazione dell'acido solforico e dai componenti del condotto di scarico.

Come detto prima, il TPM è determinato pesando il totale di massa posta sul filtro di campionamento, di conseguenza l'acido solforico, i sali dei solfati e l'acqua combinata sono tutti TPM. L'esatta quantità di acqua

che è combinata con l'acido solforico cambia in funzione del grado di umidità e della temperatura. Poiché i filtri di campionamento sono preconditionati al 50% di umidità e a 25°C, dal diagramma di figura 8 si può ricavare la quantità di acido che in queste condizioni si combina con l'acqua.

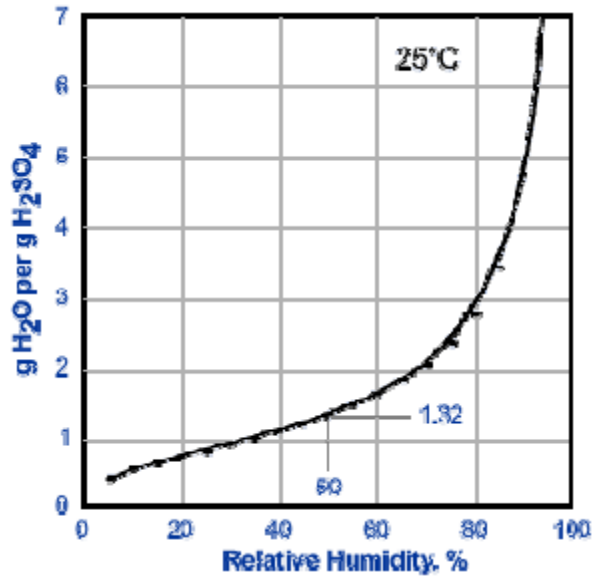


Figura 8 - Andamento dell'acido solforico in funzione dell'umidità

Normativa

Su richiesta del Parlamento Europeo, un nuovo approccio regolatorio è stato introdotto nella legislazione dei veicoli EU. In marzo 2001 è stato lanciato il programma (CAFE – Clean Air For Europe).

Una delle prerogative è la riduzione delle emissioni del settore dei trasporti (terrestri, marittimi ed aerei) per ottenere risultati sulla qualità dell'aria.

Gli standards Euro 5 e 6 sono una delle misure per ridurre l'emissione di particolato e di distruttori di ozono come ossidi di azoto ed idrocarburi.

Per assicurare i controlli dell'emissione di particelle ultrafini di particolato (PM 0.1 μ m ed inferiori), la Commissione dovrà adottare quanto prima ed al più tardi all'entrata in vigore della normativa EURO 6 (settembre 2014) un approccio alle emissioni di PM basato sul numero, in aggiunta a quello basato sulla massa usato oggi.

Il controllo basato sul numero di particelle dovrebbe basarsi sui risultati del PMP (Particulate Measurement Programme) ed essere coerente con gli esistenti ed ambiziosi obiettivi per l'ambiente.

Per una maggiore ripetibilità nelle misure della massa e del numero delle particelle, la Commissione dovrebbe adottare un nuovo procedimento di misura per sostituire quello attuale. Una volta implementata questa nuova procedura, il limite sulla massa di PM stabilito dal regolamento dovrebbe essere ricalibrato, poiché tale nuova procedura registra un limite sulla massa minore di quello attuale.

L'uso di sistemi di misura portabili e l'introduzione del concetto regolatorio del "not-to-exceed" dovranno essere inoltre considerati.

Sono definite come "*emissioni di particolato*" le componenti dei gas di scarico che vengono rimosse dai gas di scarico diluiti alla massima temperatura di 325°K (52°C) per mezzo di filtri descritti nella procedura del test per la verifica delle emissioni medie allo scarico.

Si riportano di seguito i limiti delle emissioni pubblicati in data 20 giugno 2007 sull'Official Journal of the European Union [42].

ANNEX I

EMISSION LIMITS

Table 1

Euro 5 emission limits

Category	Class	Reference mass (RM) (kg)	Limit values														
			Mass of carbon monoxide (CO)		Mass of total hydrocarbons (THC)		Mass of non-methane hydrocarbons (NMHC)		Mass of oxides of nitrogen (NO _x)		Combined mass of total hydrocarbons and oxides of nitrogen (THC + NO _x)		Mass of particulate matter (PM)		Number of particles (1)		
			L ₁ (mg/km)	L ₁ (PI/CI)	L ₂ (mg/km)	L ₂ (PI/CI)	L ₃ (mg/km)	L ₃ (PI/CI)	L ₄ (mg/km)	L ₄ (PI/CI)	L ₂ + L ₄ (mg/km)	L ₂ + L ₄ (PI/CI)	L ₅ (mg/km)	L ₅ (PI/CI)	L ₆ (#/km)	L ₆ (PI/CI)	
M	—	All	1 000	500	100	100	68	68	60	180	—	230	5,0	5,0			
			N ₁	RM ≤ 1 305	1 000	100	100	68	68	60	180	—	230	5,0	5,0		
				1 305 < RM ≤ 1 760	1 810	630	130	130	90	90	75	235	—	295	5,0	5,0	
N ₂	III	1 760 < RM	2 270	740	160	160	108	108	82	280	—	350	5,0	5,0			
			2 270	740	160	160	108	108	82	280	—	350	5,0	5,0			

Key: PI = Positive ignition, CI = Compression ignition

(1) A number standard is to be defined as soon as possible and at the latest upon entry into force of Euro 6.

(2) Positive ignition particulate mass standards apply only to vehicles with direct injection engines.

Table 2
Euro 6 emission limits

Category	Class	Reference mass (RM) (kg)	Limit values														
			Mass of carbon monoxide (CO)		Mass of total hydrocarbons (THC)		Mass of non-methane hydrocarbons (NMHC)		Mass of oxides of nitrogen (NO _x)		Combined mass of total hydrocarbons and oxides of nitrogen (THC + NO _x)		Mass of particulate matter (PM)		Number of particles (*)		
			L ₁ (mg/km)	CI	L ₂ (mg/km)	CI	L ₃ (mg/km)	CI	L ₄ (mg/km)	CI	L ₅ + L ₆ (mg/km)	CI	L ₇ (mg/km)	PI (*)	L ₈ (#/km)	CI	
M	—	All	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	—	5,0	5,0	—	—
N ₁	I	RM ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	—	5,0	5,0	—	—
	II	1 305 < RM ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	105	—	195	—	5,0	5,0	—	—
	III	1 760 < RM	2 270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	—	5,0	5,0	—	—
N ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Key: PI = Positive ignition, CI = Compression ignition

(*) A number standard is to be defined for this stage.

(†) Positive ignition particulate mass standards apply only to vehicles with direct injection engines.

In data 28 luglio 2008 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale il regolamento (CE) n. 692/2008 della Commissione [41], recante attuazione e modifica del regolamento (CE) n.715/2007 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativo all'omologazione dei veicoli motore riguardo alle emissioni dai veicoli passeggeri e commerciali leggeri (Euro5 ed Euro6) e all'ottenimento di informazioni per la riparazione e la manutenzione del veicolo.

Table 3

Emission limit for the evaporative emissions test

Mass of Evaporative Emission (g/test)
2,0

Table 4

Emission limit for the carbon monoxide and hydrocarbon tailpipe emissions after a cold start test

Test temperature 266 K (-7 °C)			
Vehicle Category	Class	Mass of carbon monoxide (CO) L ₁ (g/km)	Mass of hydrocarbons (HC) L ₂ (g/km)
M	—	15	1,8
N ₁	I	15	1,8
	II	24	2,7
	III	30	3,2
N ₂		30	3,2

«Tabella 1
limiti d'emissione EUR 5

Categoria	Classe	Massa di riferimento (MR) (kg)	Valori limite														
			Massa di monossido di carbonio (CO)		Massa di idrocarburi totali (THC)		Massa di idrocarburi non metanici (NMHC)		Massa di ossidi di azoto (NO _x)		Massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (THC + NO _x)		Massa di particolato (PM)		Numero di particelle (P)		
			L ₁ (mg/km)	L ₂ (mg/km)	L ₃ (mg/km)	L ₄ (mg/km)	L ₂ + L ₄ (mg/km)	L ₅ (mg/km)	L ₆ (n _t /km)	L ₁ (mg/km)	L ₂ (mg/km)	L ₃ (mg/km)	L ₄ (mg/km)	L ₅ (mg/km)	L ₆ (n _t /km)		
M	—	Tutte	1 000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	—	5,0/4,5	5,0/4,5	—	6,0 × 10 ¹¹
		I	1 000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	—	5,0/4,5	5,0/4,5	—	6,0 × 10 ¹¹
		II	1 810	630	130	—	90	—	75	235	—	295	—	5,0/4,5	5,0/4,5	—	6,0 × 10 ¹¹
N ₁	III	1 760 < MR	2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	—	5,0/4,5	5,0/4,5	—	6,0 × 10 ¹¹
		Tutte	2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	—	5,0/4,5	5,0/4,5	—	6,0 × 10 ¹¹
N ₂	—	Tutte	2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	—	5,0/4,5	5,0/4,5	—	6,0 × 10 ¹¹

Legenda: PI = motori ad accensione comandata, CI = motori ad accensione spontanea

(1) Un procedimento di misura riveduto per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite di 4,5 mg/km.

(2) Un nuovo procedimento di misura per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite.

(3) I limiti relativi alla massa di particolato per i motori ad accensione comandata si applicano solo ai veicoli con motore a iniezione diretta.

Tabella 2
limiti d'emissione EUR 6

Categoria	Classe	Massa di riferimento (MR) (kg)	Valori limite																					
			Massa di monossido di carbonio (CO)		Massa di idrocarburi totali (THC)		Massa di idrocarburi non metanici (NMHC)		Massa di ossidi di azoto (NO _x)		Massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (THC + NO _x)		Massa di particolato (PM)		Numero di particelle (P)									
			L ₁ (mg/km)	PI	CI	L ₂ (mg/km)	PI	CI	L ₃ (mg/km)	PI	CI	L ₄ (mg/km)	PI	CI	L ₂ + L ₄ (mg/km)	PI	CI	L ₅ (mg/km)	PI (*)	CI	L ₆ (n./km)	PI (*)	CI (*)	
M	—	Tutte	1 000	500	—	100	—	68	—	60	80	—	170	—	5,0/4,5	5,0/4,5	6,0 × 10 ¹¹							
		MR ≤ 1 305	1 000	500	—	100	—	68	—	60	80	—	170	—	5,0/4,5	5,0/4,5	6,0 × 10 ¹¹							
N ₁	—	1 305 < MR ≤ 1 760	1 810	630	—	130	—	90	—	75	105	—	195	—	5,0/4,5	5,0/4,5	6,0 × 10 ¹¹							
		1 760 < MR	2 270	740	—	160	—	108	—	82	125	—	215	—	5,0/4,5	5,0/4,5	6,0 × 10 ¹¹							
N ₂	—	Tutte	2 270	740	—	160	—	108	—	82	125	—	215	—	5,0/4,5	5,0/4,5	6,0 × 10 ¹¹							

Legenda: PI = motori ad accensione comandata, CI = motori ad accensione spontanea

(*) Un procedimento di misura riveduto per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite di 4,5 mg/km.

(*) In questa fase verrà definito un valore per i veicoli con motore ad accensione comandata.

(*) I limiti relativi alla massa di particolato per i motori ad accensione comandata si applicano solo ai veicoli con motore a iniezione diretta.

(*) Un valore sarà definito prima del 1° settembre 2014.

(*) Un nuovo procedimento di misura per il particolato sarà introdotto prima dell'applicazione del valore limite.*

Capitolo 2 [7]

Principi di misura degli inquinanti allo scarico

Nel seguito si introducono brevemente i principi di misura della concentrazione dei vari inquinanti, per soffermarsi solo sul particolato.

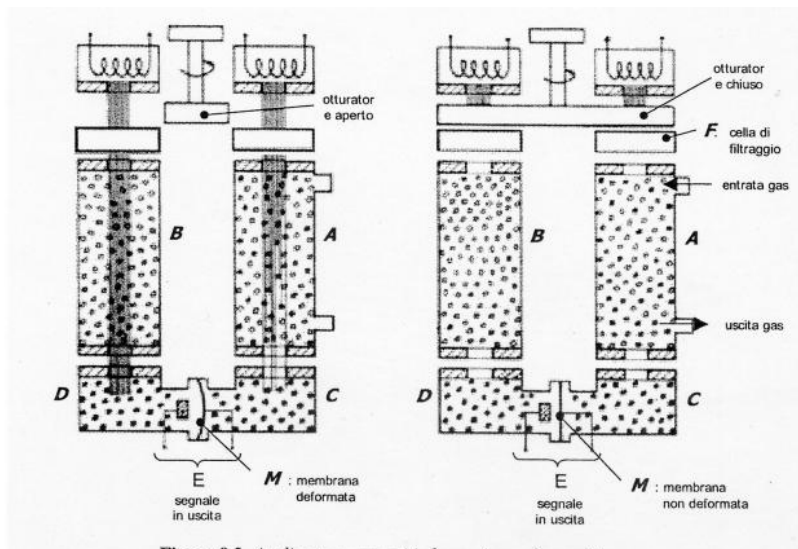
Misuratori non dispersivi ad infrarosso(NDIR)

Sistemi standard di misura degli ossidi di carbonio (CO, CO₂). Si basano sul principio che ogni gas, attraversato da una banda infrarossa, assorbe energia su una particolare lunghezza d'onda.

Una sorgente di raggi infrarossi dirige le sue radiazioni sulle due celle di misura (C e D) identiche, contenenti gas del tipo di quello da analizzare (CO, CO₂), divise da una membrana M costituente una delle due armature di un condensatore elettrico.

Un volume cilindrico B è riempito con un gas non assorbente (N₂), mentre il volume (A) è attraversato dal gas da analizzare. La quantità di energia assorbita dal gas presente in A è proporzionale alla concentrazione della specie da analizzare.

Alla cella di misura C giunge quindi una quantità inferiore di radiazione rispetto a quella della cella D, ed il gas contenuto in C subisce quindi un innalzamento di temperatura e di pressione inferiore a quello contenuto in D. Ne consegue uno spostamento della membrana M, che viene convertito in un segnale elettrico funzione della concentrazione del componente da analizzare.

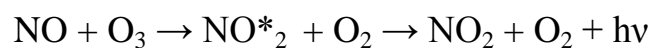


Analizzatori a ionizzazione di fiamma

Sistemi standard di misura della concentrazione di idrocarburi (HC). Si basano sul principio che ogni idrocarburo, bruciando, produce ioni, mentre una fiamma prodotta dall'ossidazione di idrogeno non ne produce. Il gas in misura viene inviato ad una fiamma prodotta da idrogeno e ossigeno. Gli ioni sono particelle cariche elettricamente, quindi si ha passaggio di corrente tra due elettrodi posti nelle vicinanze della fiamma. La corrente misurata tra i due elettrodi è proporzionale al tasso di ionizzazione, che a sua volta dipende dalla concentrazione di HC presenti nel gas.

Analizzatori a chemiluminescenza

Sistemi standard di misura della concentrazione di ossidi di azoto (NO, NO_x). Si basano sul seguente principio: NO si combina con l'ozono (O₃) secondo le reazioni:



Il biossido formatosi nello stato eccitato decade con emissione di un fotone di frequenza ν . Il voltaggio di questa emissione è proporzionale alla concentrazione di NO.

Misure di particolato e fumosità

Un importante fattore per la riduzione delle emissioni di particolato (PM) di materia, è l'alta risoluzione temporale della misurazione, principalmente nei transitori veloci, perché permette di analizzare i meccanismi di formazione e di quantificare gli effetti di strategie di controllo orientate alla loro riduzione.

Tuttavia non tutte le attuali tecniche di misurazione sono adatte per rispettare le future norme.

Al giorno d'oggi esistono molte tecniche diverse di misura per PM e per la misura della concentrazione della polvere, in base alle metodologie diverse che vengono usate. Tra alcune delle tecniche disponibili in commercio ci sono:

1. tecnica basata sulle analisi gravimetriche
2. il metodo basato sul filtro – misuratore di fumo
3. misura dell'opacità continua – opacimetro
4. spettrometro differenziale di mobilità (DMS - Differential Mobility Spectrometer,)
5. spettroscopia fotoacustica
6. incandescenza indotta dal laser (LII - Laser Induced Incandescence)

La caratteristica che oggi interessa precipuamente è la capacità di misurare il numero di particelle emesso, come richiesto dalla nuova normativa e non solo la massa di particelle emessa, come è stato richiesto fino ad ora.

Nella trattazione che verrà presentata nel seguito, si ha dunque la distinzione fra metodologie idonee a misurare solo la massa/concentrazione di PM emessa, tra cui possiamo collocare:

1. TECNICHE GRAVIMETRICHE
Tra cui
 - 1.1 FILTRO GRAVIMETRICO
 - 1.2 ANALISI TERMOGRAVIMETRICA

2. MISURATORE DI FUMO
 - 2.1 SMOKE METER

3. OPACIMETRO
 - 3.1 AVL 439 OPACIMETER

e metodologie idonee a misurare il numero di particelle emesso, tra cui vi sono:

4. TECNICHE FOTOACUSTICHE
 - 4.1 DMS
 - 4.2 DMA
 - 4.3 EEPS
 - 4.4 SMPS
 - 4.5 PASS

5. TECNICHE LASER
 - 5.1 LII (Laser Induced Incandescence)

Le principali differenze fra le seguenti tecnologie sono nella metodologia di misura ed in cosa esse misurano (soot o Particulate Matter).

Altre caratteristiche importanti sono la sensibilità di misura, il tempo di campionamento e la risposta dinamica.

Un'ulteriore caratteristica di interesse è il posizionamento del sensore nella misura delle emissioni durante il funzionamento del motore Diesel.

L'ideale, per quanto riguarda la risposta dinamica, sarebbe il più vicino possibile alla sorgente delle emissioni, direttamente cioè nella camera di

combustione, ma per motivi geometrici la posizione più vicina possibile è nel collettore di scarico.

Tuttavia, a causa delle alte pressioni e temperature raggiunte localmente dal soot, le misure sono di solito effettuate lontano dal collettore di scarico o direttamente nel tubo di scarico.

Questo causa ritardi nei segnali misurati e perdita di importanti informazioni sulla dinamica della formazione di soot, necessarie allo sviluppo di tecnologie per minimizzare le emissioni di PM nella combustione. Ne consegue che una tecnica di misura veloce ed in-situ è necessaria per un controllo attivo della combustione.

Altri ritardi nella misura sono causati dagli stessi strumenti. I ritardi sono dovuti alla lunghezza della linea di campionamento ed in alcuni casi dal tunnel di diluizione.

La lunghezza di questa condotta può essere di alcuni metri da cui ne deriva un ritardo di alcuni secondi.

Capitolo 3

Misure gravimetriche

Filtro gravimetrico[8, 9]

I PM possono essere direttamente misurati pesando una porzione totale o conosciuta di essi dai fumi di scarico. Le particelle allo scarico sono raccolte su un filtro mentre il veicolo è posto su un banco a rulli. Il filtro viene quindi pesato ottenendo la massa di misura.

Si simula in questo modo il reale funzionamento del veicolo pur mantenendolo fermo. Le sue ruote motrici sono infatti poste su rulli rotanti che permettono a queste di ruotare, vincendo nel loro movimento la coppia resistente imposta dai rulli. Il carico che il motore deve vincere è simile a quello che avrebbe se dovesse accelerare il veicolo alla stessa velocità. Il carico imposto inoltre cresce con la velocità, simulando l'attrito delle ruote e la resistenza dell'aria.

Posto il veicolo sul banco a rulli, lo stesso è sottoposto a cicli di guida che rappresentano le diverse condizioni di guida in strada. Sono quindi inclusi il funzionamento cittadino, autostradale o le forti accelerate/frenate.

Durante l'esecuzione di uno di questi cicli, i gas di scarico sono posti in una camera di misura. I gas di scarico sono prima diluiti con aria filtrata e quindi portati a 16 diversi dispositivi di misura. Essi possono includere analizzatori di NO_x, CO/CO₂, HC, microbilancia real-time ed un filtro. Durante il test, una frazione conosciuta del flusso di scarico transita per una camera di diluizione.

Il maggior vantaggio di eseguire un'analisi gravimetrica catturando le particelle su filtri è la diretta misura della massa delle particelle in unità compatibili con gli standard statali e federali. Problemi di scarsa

correlazione sono completamente evitati nonostante potrebbero permanere problemi di assorbimento di vapori d'acqua o di idrocarburi semi-volatili. Ciò consente una maggior distinzione tra veicoli idonei e veicoli non idonei.

Un altro vantaggio dei filtri gravimetrici sull'opacità è la migliore rappresentazione delle normali condizioni di guida. Tuttavia si è riscontrato che l'elettronica può dare anomalie se non tutte le ruote sono in movimento.

Lo svantaggio principale del metodo dei filtri gravimetrici è il tempo necessario per effettuare le misure ed i costi associati. Un intero ciclo di test può durare fino a 20-30 minuti. Se diversi cicli sono effettuati su un veicolo, includendo i tempi di preparazione, il tempo del test può durare un intero giorno.

Un secondo svantaggio è il costo proibitivo nello svolgere il test su un singolo veicolo a causa di costi dell'attrezzatura necessaria molto elevati (fino a \$300.000) ed alla richiesta di una manodopera specializzata per l'operazione. Ovviamente, anche se tali costi sembrano alti, è importante compararli con un equivalente programma FAS (Free Acceleration Smoke), che prevede prove ripetute di accelerazione per poter ottenere risultati attendibili. La California sta eseguendo test per 22 milioni di dollari annui. Un confronto tuttavia non è facile. I programmi statali (SIPs – State Implementation Programs), che dettano le norme per ottenere determinati standard di qualità dell'aria ambiente, sono calcolati sulla base dei costi per massa ma a causa dell'inaccuratezza delle misure di opacità, i costi totali del programma non sono certi.

Confronto di una misurazione alternativa della massa di particolato con un'innovativa analisi della microbilancia

Il metodo di pesatura comporta un processo lungo. Il filtro deve essere equilibrato, pre e post pesato, solitamente con misure ripetute.

Un'alternativa all'analisi gravimetrica è un *analizzatore di massa termico* che misura la frazione organica semivolatile (SOF), come pure le frazioni di polvere e di solfato del particolato (PM) raccolte su un filtro pulito dal quarzo.

E' stato di recente condotto uno studio per valutare un metodo termico di misurazione della massa, come possibile alternativa alla pesatura con il filtro [8].

Misurazione termica della massa

Le misure di massa termiche sono state effettuate, in questo studio, con uno strumento commerciale, l'Horiba MEXA 1370 PM [32].

I filtri con i PM accumulati vengono inseriti in una fornace ad alta temperatura, dove la frazione organica semivolatile più i solfati vengono rimossi in primo luogo dall'azoto fluente. In punti a valle, i solfati sono convertiti in SO_2 e i composti volatili organici sono convertiti in CO_2 con l'aggiunta di ossigeno. Il flusso di azoto è sostituito con l'ossigeno dopo un intervallo di tempo idoneo e la polvere che rimane sul filtro viene convertita in CO_2 . Gli Analizzatori di CO_2 e SO_2 a valle misurano le loro concentrazioni. Un software, utilizzando le informazioni di calibrazione, converte le concentrazioni in masse.

Configurazione dello strumento e funzionamento

Una delle caratteristiche che lo rendono attraente come alternativa alla pesatura con i filtri è la mancanza di necessità dell'ambiente controllato richiesto da una microbilancia. Un diagramma dei percorsi di flusso per questo strumento è illustrato nella figura 9. Lo strumento è costituito da due sezioni collegate della fornace annessa effettuate a $980\text{ }^\circ\text{C}$.

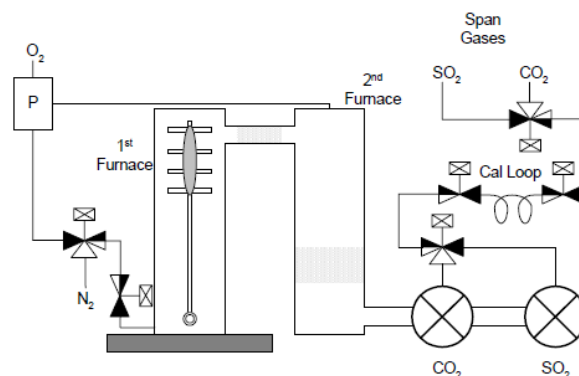


Figura 9 – Diagramma dei percorsi di flusso dello strumento dove si vedono il filtro ed il contenitore di quarzo nel primo dei due forni. La barra grigia rappresenta l'otturatore che separa il forno dalla camera di spurgo. Il riquadro "P" è il purificatore per l'ossigeno.

I Filtri di quarzo sia da Advantec che da Pall sono stati utilizzati per le misure di massa termiche qui riportate. Non c'era alcuna differenza in termini di prestazioni osservate tra i due produttori di filtro in questa applicazione.

Risposta dell'analizzatore

Il passaggio dalla risposta del rivelatore in valori di massa è meglio visualizzata come una serie di steps, alcuni che si svolgono in fabbrica di costruzione e alcuni nel luogo di misura.

Linearizzazione dell'analizzatore

La polvere e il SOF ossidati vengono misurati come CO₂ con un analizzatore infrarosso non dispersivo (NDIR) con un rivelatore allo stato solido (semi conduttore). SO₂ è inoltre misurato con un analizzatore NDIR.

Gli analizzatori sono linearizzati in fabbrica con gas di calibrazione. La concentrazione in ciascun punto di taglio genera una determinata intensità trasmessa, I_x e la risposta non lineare viene convertita quindi in una risposta nominalmente lineare.

Massa nominale derivata dalla concentrazione

Il gas che contiene la CO₂ attraversa l'analizzatore e questo restituisce una concentrazione in funzione di tempo.

La concentrazione misurata viene convertita in flusso di massa nominale di carbonio per unità di tempo. La temperatura del rivelatore è mantenuta a 328 ± 1 ° K (55 ± 1 ° C). Questa variabilità di temperatura provoca solo un +0.32% o -0.29% di errore nella calibrazione dalla massa. Tuttavia, per rimuovere qualsiasi cumulo di span e per collegare la misurazione della massa finale agli standard del gas reperibile NIST, una calibrazione span al momento della misurazione è usata come una correzione alla massa nominale (e il risultato è archiviato, pure). Questo viene eseguito utilizzando il ciclo di calorie, citato in precedenza. La taratura di fabbrica prepara lo strumento per questo processo.

Massa indicata

Separazione sof/soot

A livelli elevati di PM, domina il soot. Mentre se i livelli di PM sono scesi, il SOF (un mix di combustibile e di olio lubrificante), diviene più importante.

Performance della misurazione termica della massa

Comparazione col metodo gravimetrico

Misurazioni gravimetriche

La bilancia usata nella comparazione ha una risoluzione di 0.1µg. Tre diversi filtri sono stati usati, tutti di 47mm di diametro.

Confronto con il TX40 (un materiale in fibra di vetro ricoperto di Teflon)

I dati di figura 1 sono costituiti da 40 coppie di filtri. La massa ottenuta dal filtro TX40 è plottata rispetto alla massa ottenuta col metodo gravimetrico. La somma delle misure di SOF e di soot coi filtri al quarzo sono messi in un grafico con la massa dell'Horiba MEXA 1370 PM.

La linea continua ha una pendenza dell'unità e mostra la correlazione ideale fra i due metodi. Mentre i filtri con una massa maggiore di 500µg mostrano una correlazione molto buona, i filtri TX40 sotto questo valore indicano una massa maggiore di quella dei filtri misurati con l'analizzatore di massa termica.

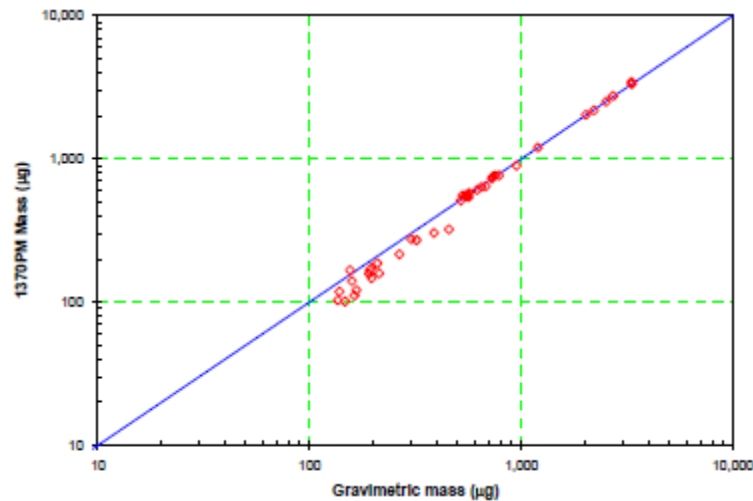


Figura 10 - Risultati ottenuti dalle misurazioni di massa termica a confronto di quelli ottenuta dai filtri TX40

Se la differenza è dovuta al maggior assorbimento di idrocarburi più elevato da parte del TX40 rispetto ai filtri di quarzo, questo assorbimento potrebbe essere finto aggiungendo una massa costante all'intera gamma di carico del filtro. Questo suggerisce che i filtri TX40 abbiano un maggiore assorbimento di idrocarburi di circa $36\mu\text{g}$, almeno ai livelli più bassi. In altri termini, la correlazione tra i risultati del filtro gravimetrico TX40 e la misurazione con massa termica è sufficiente fino a carichi che scendono a livelli cui tale finzione è significativa.

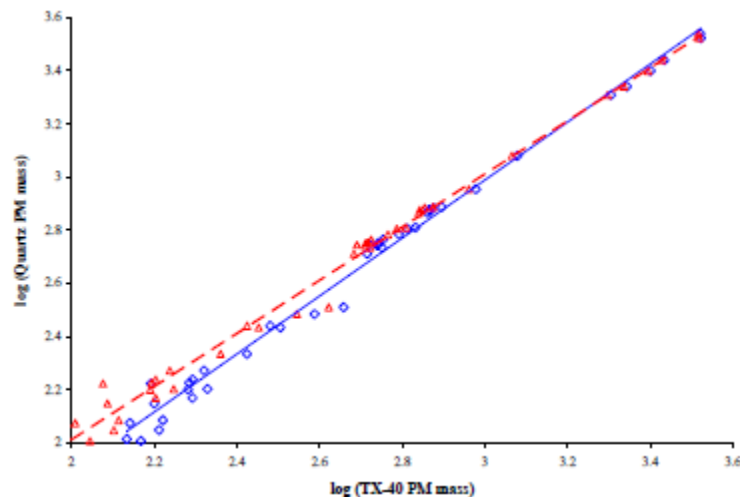


Figura 11 - Risultati ottenuti con la massa termica a confronto con quelli dalla pesatura del filtro TX40. Sono gli stessi dati di figura 10 (rombi) e dati con $36\mu\text{g}$ sottratti dalle masse del TX40 (triangoli) Confronto con il Teflo (una membrana di Teflon espansa)

I dati di figura 12 si riferiscono a 51 coppie di filtri con range di masse di carico da 50 μ g ad 1g. La relazione lineare è abbastanza buona.

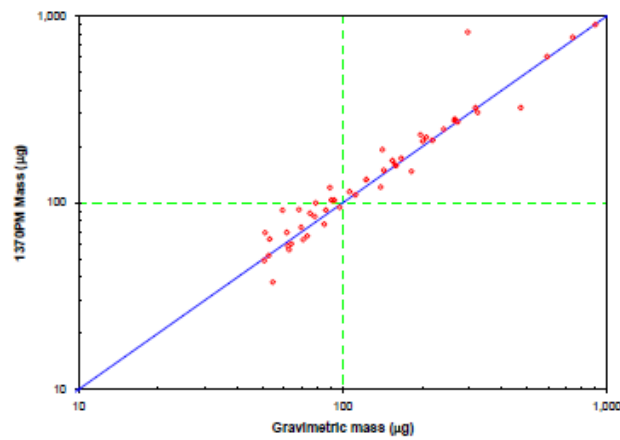
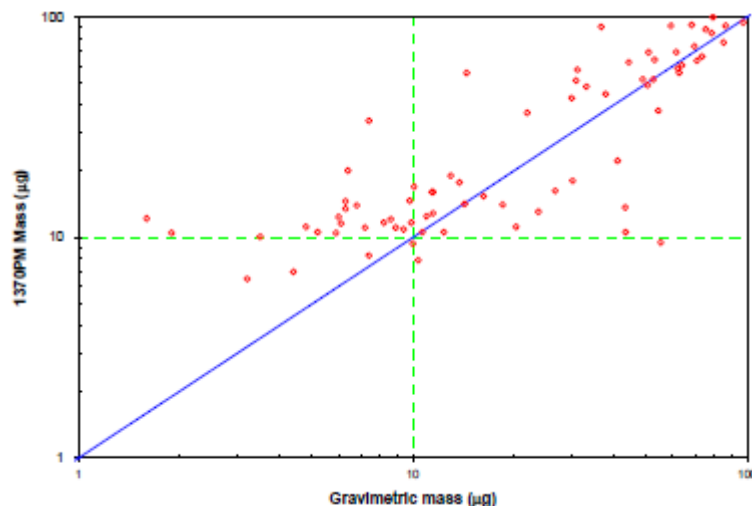


Figura 12 - Risultati ottenuti dalla massa termica a confronto di quelli ottenuti dalle misure di filtri Teflo di 2 micron

I dati mostrati in figura 13 confrontano le pesate di filtri Teflo a quelle di filtri al quarzo analizzati col metodo della massa termica per PM molto bassi, sotto i 100 μ g. I valori delle misure di massa termica non scendono sotto i 10 μ g. In questo caso, una probabile interpretazione in questo caso è quella che i filtri al quarzo esibiscano maggior assorbimento di quelli Teflo.



*Figura 13 – Risultati delle misure di massa termica e del filtro di Teflo da 2 micron. I carichi di massa sono sotto i 100 μ g
Misurazioni vicino al limite di rilevazione*

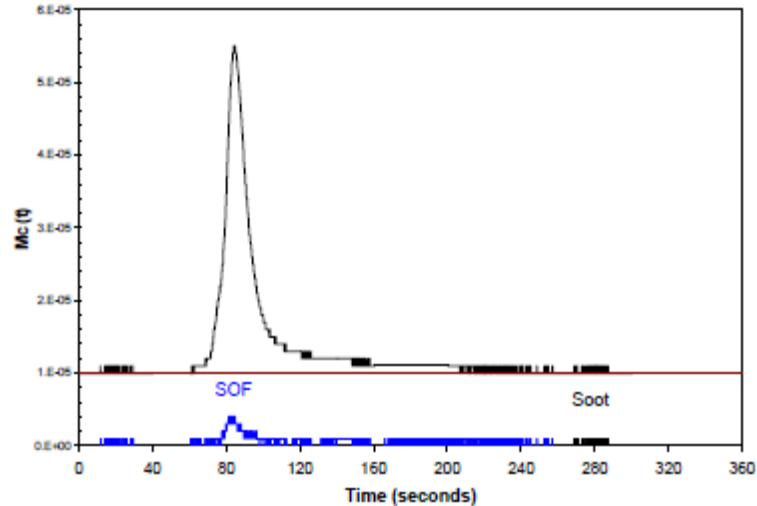


Figura 14 – 2 grafici nominali di massa di carbonio per l’analisi del SOF e del soot. Il grafico più in alto si riferisce al filtro principale. Il grafico più in basso è la differenza fra il filtro principale e quello secondario.

I dati di massa del carbonio nominale mostrati nella traccia superiore della figura 14 sono per un filtro con un carico calcolato di 10,8 μg di SOF e 0,2 μg di polvere. Va notato che questo livello di polvere è inferiore al limite di rilevazione per lo strumento, mentre il segnale di polvere è molto vicino al rumore dell’analizzatore, il segnale di SOF è abbastanza grande.

Per tenere conto degli alti livelli di SOF visti quando la polvere era così bassa, un filtro secondario del quarzo è stato raccolto simultaneamente. Nessuna polvere è stata osservata sul filtro secondario per questo e altri test, verificando l’alta efficienza dei filtri del quarzo per PM. Un picco di SOF grande è stato trovato sul filtro secondario e sottratto da quello del filtro principale come una prima correzione di ordine per assorbimento dei vapori organici. La traccia più bassa è la differenza tra il filtro primario (mostrato) e il filtro secondario (non mostrato). Da questa analisi di SOF e di polvere da entrambi i filtri, è chiaro che i vapori organici assorbiti stanno soprafaccendo il PM effettivo a livelli bassi.

La maggiore risoluzione apre la strada per la possibile correzione dell’artefatto del vapore organico assorbito. L’accumulazione dei filtri di quarzo primari e secondari, permette che la massa dell’artefatto sia rimossa da sottrazione.

Con le misure di massa termiche tale correzione richiede solo due misurazioni (filtri primari e secondari), mentre l'approccio gravimetrico richiede due sottrazioni di quattro misurazioni (primaria, secondaria, ciascuno pre- e post-pesatura) ed è soggetto a una maggiore variabilità.

Le attuali tecniche gravimetriche (con la richiesta di pesature multiple) non possono misurare 0,26 µg di soot su un filtro, indipendentemente dal metodo utilizzato per rimuovere SOF (estrazione con solventi, estrazione di fluido supercritico o dissorbimento vuoto).

Conclusioni

È dimostrato che l'approccio di misurazione di massa termica è calibrato utilizzando gli standard di NIST reperibili in modi simili a altre misurazioni di emissioni. Il livello di correlazione tra le misure di massa termiche e i filtri TX40 sopra 500 µg, come pure i filtri Teflo 2 di micron sopra 50 µg, indica che questo strumento è un approccio di misura paragonabile quando gli artefatti non interferiscono. Offre anche una migliore risoluzione per la misurazione di polvere molto bassa e la possibilità di correggere per un artefatto conosciuto a livelli bassi di PM.

Capitolo 4

Smoke meter [10]

Principio di funzionamento

Principio di misura

Un campione di gas è preso dalla linea di scarico e fatto passare attraverso un filtro di carta (composto di fibre di cotone). L'annerimento del filtro di carta che ne consegue è quindi misurato con un riflettometro e indica il contenuto di soot nei gas di scarico.

L'annerimento del filtro di carta dipende dalla concentrazione del soot nei gas di scarico e dalla "lunghezza effettiva del filtro" (volume dei gas di scarico relativi all'area del filtro).

Il valore 0 è associato al filtro pulito, l'assoluto annerimento del filtro è invece associato al valore $SZ_B 10$ (numero di annerimento, in accordo con Bosch), o 100% di annerimento.

Lunghezza effettiva del filtro

Il parametro fondamentale di uno smoke meter è il volume di gas di scarico relativi alla sezione del filtro, la cosiddetta lunghezza effettiva di campionamento.

$$\text{Lunghezza effettiva di campionamento} = \frac{\text{vol.campione}-\text{vol morto}-\text{vol leakage}}{\text{area del filtro}}$$

Il Filter Smoke Number (FSN), è definito dall'ISO con una lunghezza effettiva di 405mm e valori di temperatura e pressione pari a 298K e 1 bar.

In figura 15 vediamo gli elementi principali del gas campione:

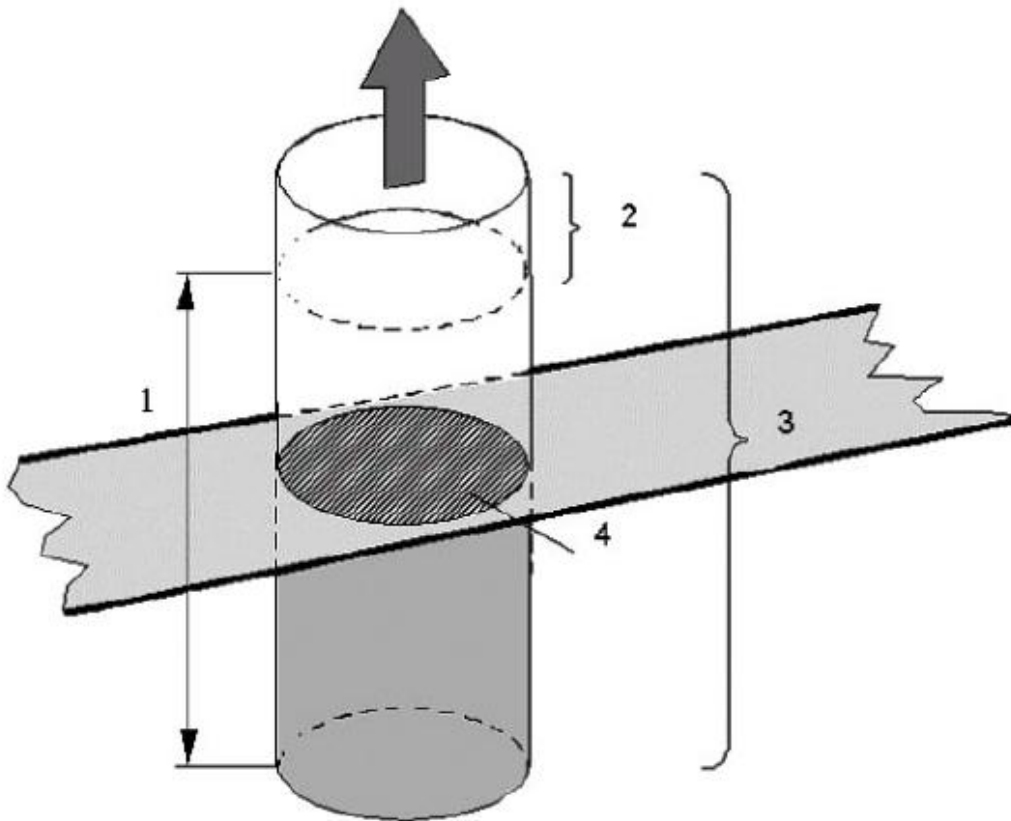


Figura 15

1. Lunghezza effettiva di campionamento
2. Volume morto
3. Volume di take out
4. Area del filtro

Valutazione ottica

Si adotta la convenzione che il “valore di riflettometro” = 0 indica un campione con assorbimento = 100% ed una riflettività = 0%.

In Europa ed in America (ISO10054) l'annerimento del filtro è relativo, cioè viene comparato al filtro di carta non annerito e definito come Filter Smoke Number (FSN).

Paper Blackening (PB), Blackening Number (SZ e/o SZ_B)

PB indica il grado di annerimento rilevato del filtro, in una scala tra 0 e 10.

Poiché questo valore non dipende solo dalla concentrazione del soot nei gas di scarico, ma anche dalla lunghezza effettiva del filtro, i valori di annerimento grezzi correlati ad una lunghezza di 405mm sono definiti come Bosch Blackening Number (SZ_B).

L'annerimento della carta è determinato dalla riflessione diffusa del filtro di carta annerito.

$$PB = \frac{100 - R_R}{10}$$

$$R_R = \frac{R_P}{R_F} \cdot 100\%$$

R_P = valore del riflettometro del campione

R_F = valore del riflettometro della carta non annerita

R_R = luminosità relativa del campione (fattore di radiazione relativa)

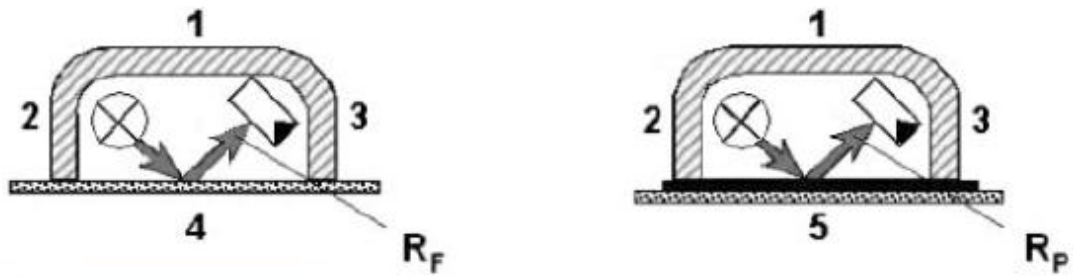


Figura 16 - Componenti della testa del riflettometro e componenti principali di misura dello smoke meter

1. Riflettometro
2. Sorgente di luce
3. Rilevatore di luce
4. Filtro pulito
5. Filtro annerito

1.1 Filter Smoke Number secondo ISO 100054

Il “Filter Smoke Number” (FSN), definito per una condizione del gas campione di 298 K (25°C) ed 1 bar, è uguale a PB se la lunghezza effettiva del campione è 405 mm.

L’annerimento del filtro è relativo, ciò significa che è determinato in relazione al filtro di carta non annerito. Per questo motivo, il valore misurato è virtualmente indipendente dalla luminosità del filtro di carta non annerito.

1.2 Pollution Level secondo JIS D 8004

Definizione:

$$PL = 1,15 \cdot R_A [\%]$$

La lunghezza effettiva del campione corrispondente è ~380mm

$$R_A = \frac{R_P}{R_S} \cdot 100$$

R_P = valore del riflettometro del campione

R_S = valore del riflettometro del bianco standard (ossido di magnesio ad esempio)

R_A = luminosità assoluta del campione (fattore assoluto di luminosità)

Nota:

Il valore di annerimento del filtro è assoluto. Per questo il valore misurato di un campione annerito diventa fortemente dipendente dalla lucentezza del filtro non annerito

Per un confronto, dai valori di SZ_B ed FSN (con una lunghezza effettiva del campione di 405mm) si può trovare un valore percentuale del Pollution Level (PL).

Se vogliamo comparare il valore fornito da uno Smoke Meter (FSN), con uno strumento che fornisce il valore come Pollution Level (PL), il valore FSN deve essere convertito nel modo seguente:

1. Trovare l'”offset” della valutazione ottica assoluta dello strumento da comparare (offset = valore misurato di PL in % per un filtro non annerito)
2. Calcolare PL_{equi} (equivalent pollution level) dello Smoke Meter:

$$PL_{equi}[\%] = FSN \cdot \frac{100 - Offset}{10} + Offset$$

Trovando l'”offset” della valutazione ottica assoluta dello strumento comparativo (valore di misura PL in % del filtro di carta non annerito) si può trovare una relazione tra FSN e PL.

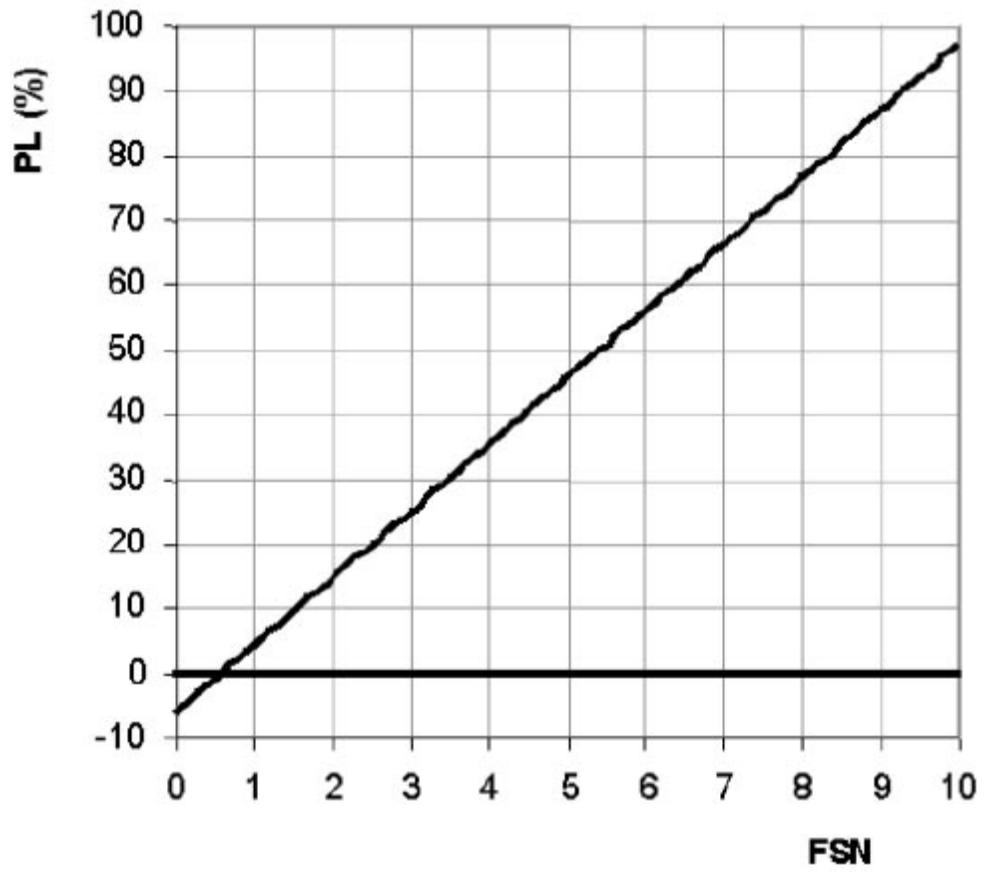


Figura 17 - Relazione fra FSN e PL con un offset di -6%

Capitolo 5

Opacimetro [9]

1. Test di opacità

Molti programmi di misura di PM usano un test basato sulla libera accelerazione dei fumi (FAS) comunemente conosciuto come snap-idle o snap acceleration test. Il test utilizza un misuratore di opacità dei fumi che effettua la misura alla loro uscita dal tubo di scarico.

L'opacimetro misura la quantità relativa di luce che passa attraverso i gas di scarico. Questa sorgente di luce brilla perpendicolarmente attraverso il flusso di gas di scarico in un rilevatore a fotocellula o fotodiode ed i dati sono continuamente raccolti.

Ponendo il veicolo su un banco a rulli ed eseguendo un ciclo di guida, l'opacità è misurata in termini di trasmittanza, cioè la frazione di luce emessa dalla sorgente che raggiunge il rilevatore. L'opacità percentuale è riportata come $100*(1-T)$.

Il largo uso del metodo FAS è principalmente dovuto alla facilità di misura ed al basso costo del test. Non richiede un banco a rulli o un tunnel di diluizione dei gas di scarico.

La misura di opacità ha comunque dei problemi. Un aspetto critico riguarda il ciclo di guida effettuato che difficilmente si avvicina ad un ciclo di guida reale.

Altro problema è la sensibilità alle condizioni ambientali come l'altitudine, la pressione barometrica, la temperatura dell'aria e l'umidità. Tutti i parametri precedentemente menzionati sono perciò contemplati in un singolo parametro "dry air density" usato per la correzione finale della misura di opacità. Sfortunatamente, ogni motore mostra diversi gradi di sensibilità a variazioni della densità dell'aria.

Ciò fa di ogni correzione universale un'approssimazione. Il grado nel quale questi fattori influenzano la misura è mostrato in figura 1

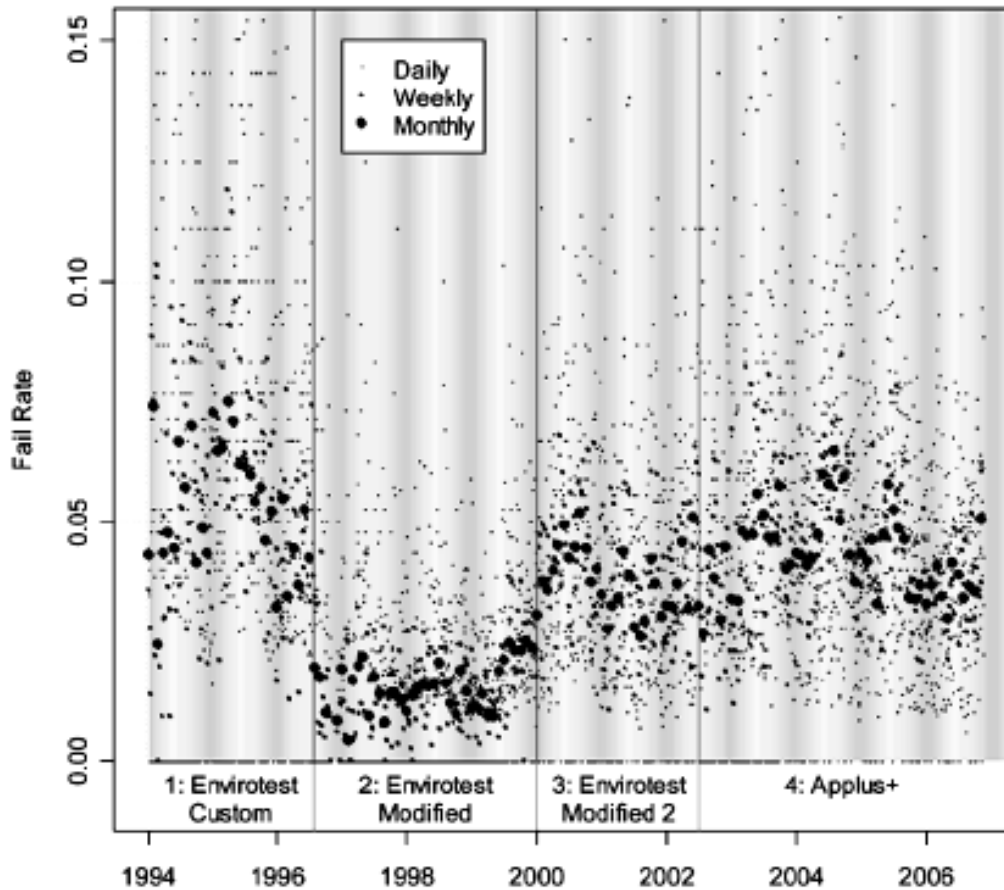


Figura 18 - Tasso percentuale di errore nelle misure in base tempo. Ogni riquadro numerato rappresenta un cambio nel metodo di test. Le strisce verticali grigio scuro rappresentano i mesi invernali, quelle grigio chiaro i mesi estivi

Nel grafico sono plottati i tassi di errore di un programma di ispezione effettuato nello stato di Washington in base tempo, ed i risultati sono divisi in 4 segmenti relativi ai diversi regimi di misura.

Da notare sono le strisce verticali scure relative ai mesi invernali di ogni anno. Vi è una significativa differenza statistica fra gli alti tassi di fallimento estivi ed i bassi tassi di fallimento invernali.

Tuttavia il principale problema del FAS è la bassa correlazione con i PM. L'opacità ha mostrato di condividere solo una lieve tendenza con i

PM. Studi più approfonditi hanno comparato PM con opacità per differenti cicli di funzionamento, ma i risultati non mostrano buona correlazione e le figure 19,20,21 mostrano l'inconsistenza dei risultati nei diversi tipi di test. La correlazione varia, l'accuratezza e la precisione sono basse.

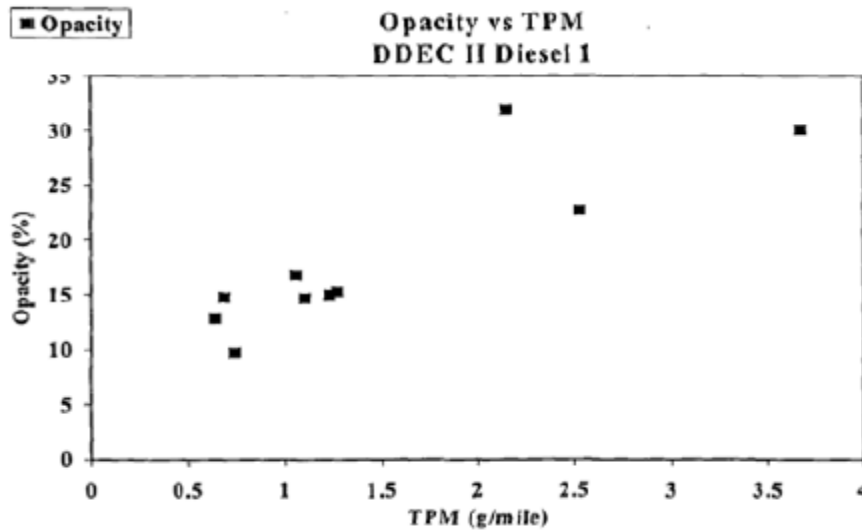


Figura 19 - Opacità vs TPM (Total Particulate Matter) come misurato da un opacimetro e dall'analisi gravimetrica da un test dinamometrico

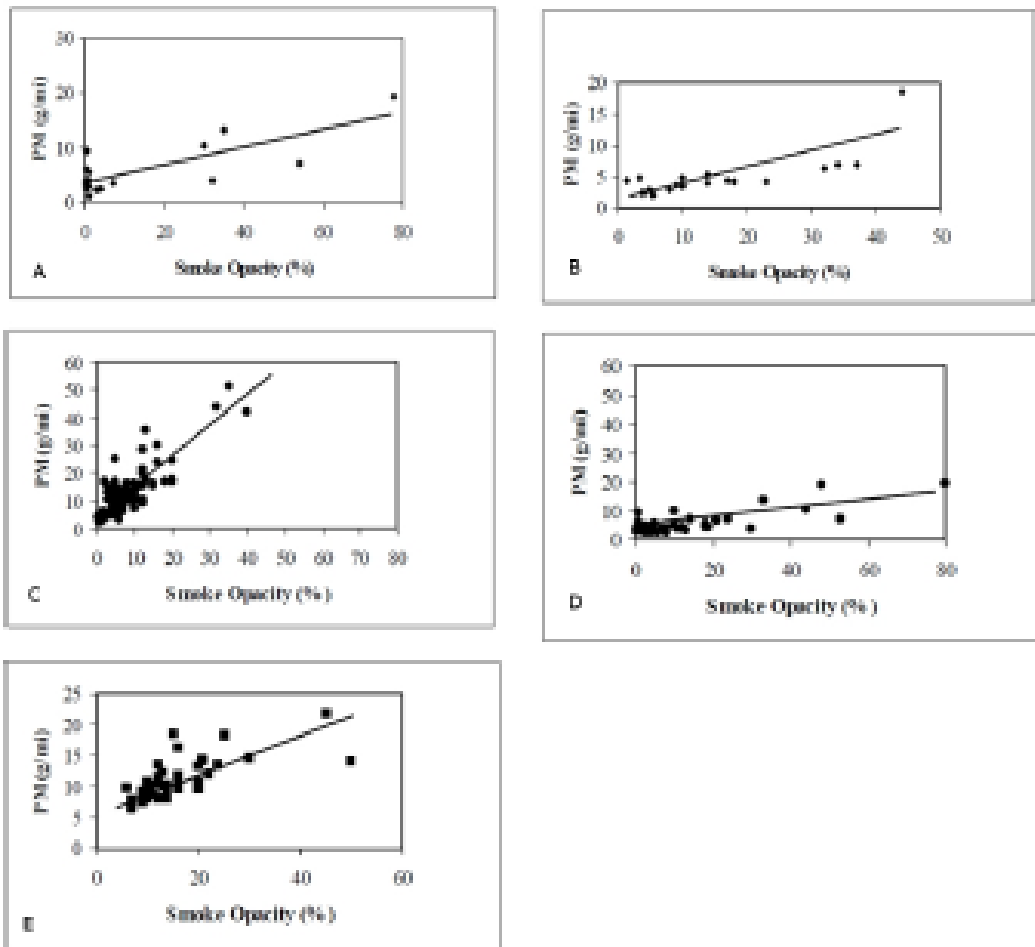


Figura 20 - Risultati da un dinamometro gravimetrico vs opacità dei fumi per diversi veicoli commerciali e diversi cicli di guida[36]

A) 1985-1987 Buses Snap Idle

B) 1988-1990 Buses Snap Idle

C) Pre 1985 Buses Real world acceleration simulation

D) Post 1985 Buses Real world acceleration simulation

E) Pre 1985 Trucks Real world acceleration simulation

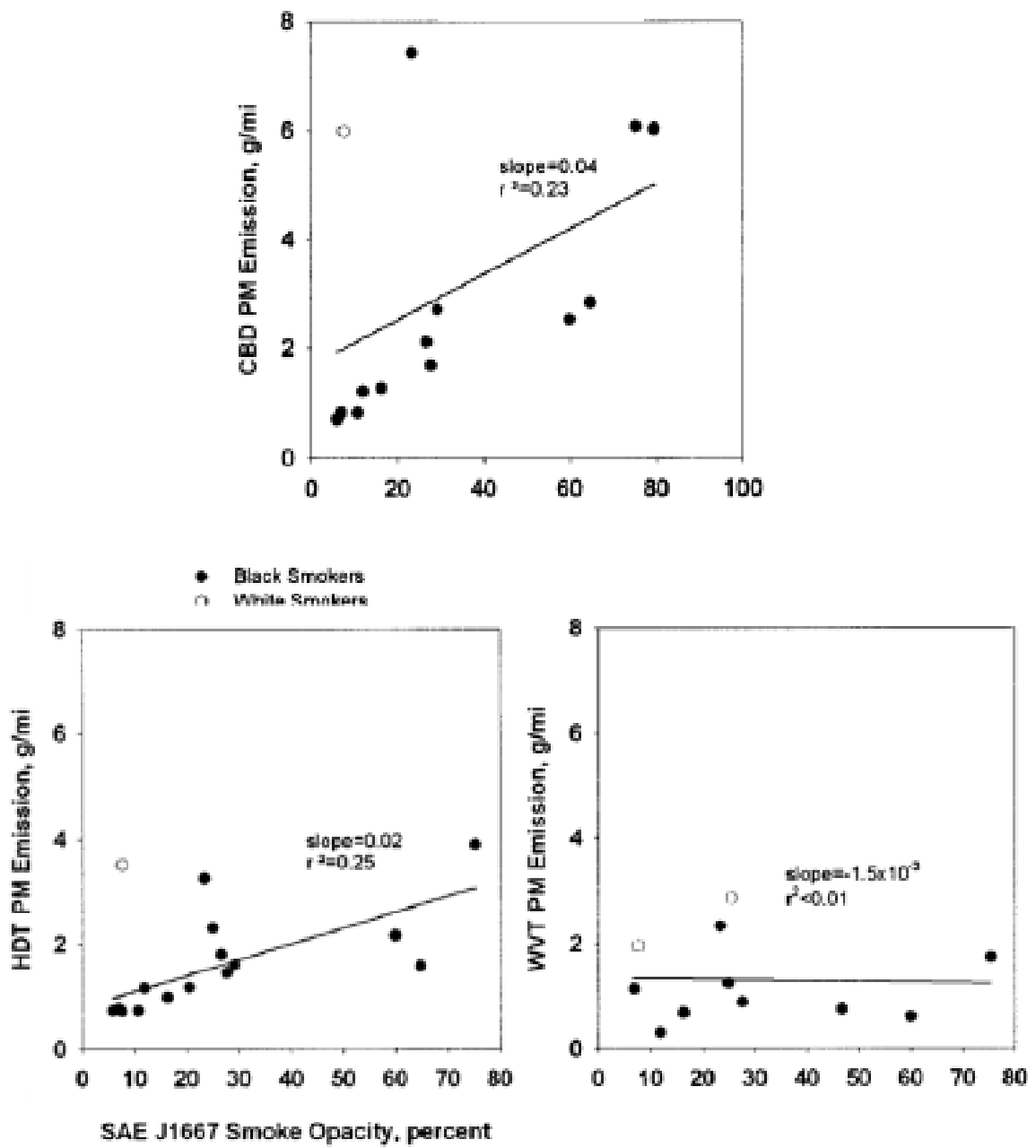
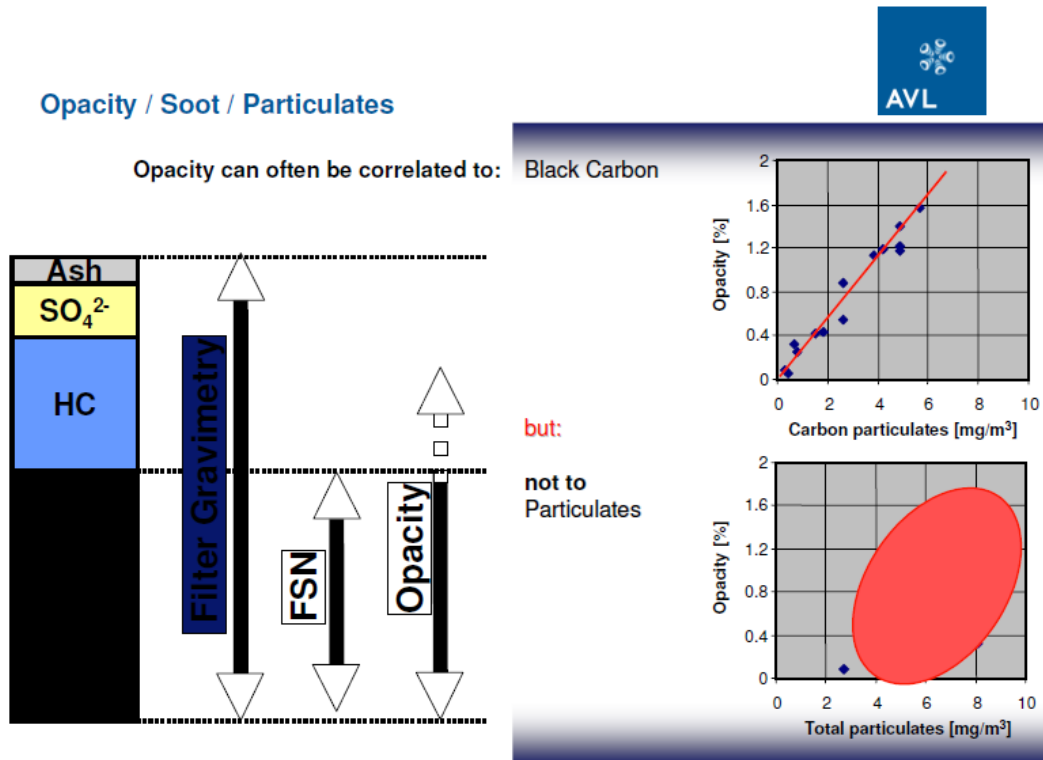


Figura 21 - Analisi di un dinamometro gravimetrico per diversi cicli di guida vs opacità

Sul manuale dell'opacimetro AVL [6] si legge come l'opacità sia legata al Black Carbon ma non al Particolato in genere.



Capitolo 6

Tecniche fotoacustiche– Elettrostatiche – CPC

Differential Mobility Analyser[9]

Un DMA opera misurando la mobilità elettrica delle particelle ed opera in maniera simile ad un dispositivo d'urto. Le particelle viaggiano attraverso il dispositivo e solo quelle con una certa dimensione e soglia di carica seguono il flusso d'aria attraverso l'uscita. Le restanti impattano contro le pareti dello strumento.

Un ingresso nella parte superiore dello strumento permette ai gas di scarico di entrare. Essi sono quindi esposti ad un monocaricatore che li carica elettricamente. Il flusso scorre quindi attraverso una guaina tra un cilindro esterno ed uno interno. Nell'efflusso tra i cilindri le particelle sono attratte verso la parte interna. Le particelle con bassa mobilità non cambiano molto la loro traiettoria ed escono attraverso l'uscita. Le particelle con alta mobilità invece collidono con il cilindro interno. Le particelle entro un certo range di mobilità escono dall'uscita e possono essere misurate da un secondo dispositivo che raccoglie tutte le particelle cariche attivate. La mobilità è fatta variare nel tempo modificando la carica interna. Si trova così una distribuzione di mobilità di particelle.

Contatore di particelle di condensazione (CPC)

Un CPC, figura 40, misura il *numero totale delle particelle* tramite un processo di condensazione. Le particelle dell'aria campione, inizialmente entrano in una camera di saturazione, quindi passano ad un condensatore per subire un processo di condensazione. La camera di saturazione viene riempita di un liquido ad alta pressione di vapore come il butanolo,

l'alcool o l'acqua. Poi il vapore condensa intorno alle particelle nell'aria campione. In questo modo, le particelle ultrafini possono crescere fino a circa 10 μ m. A questa dimensione, le particelle sono misurabili con un principio ottico (light scattering). Le particelle condensate vengono poi trasferite in una camera di misurazione. La luce Laser illumina il campione e la luce riflessa a 90° viene raccolta e utilizzata per determinare la concentrazione di particelle. I CPC non misurano la massa della particella, ma vengono utilizzati in combinazione con altri sensori di particella.

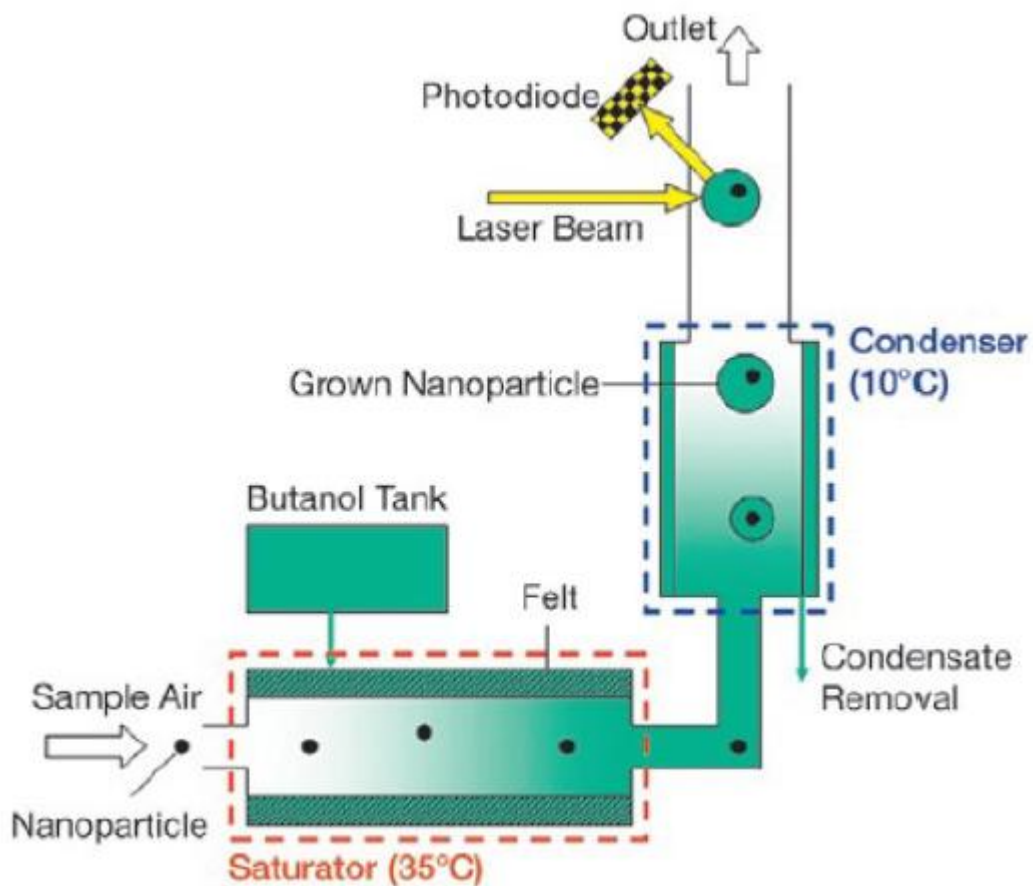


Figura 22 - Diagramma a blocchi di un CPC

Differential Mobility Spectrometer [11]

Introduzione

Il miglior sistema di classificazione dimensionale è il DMA (Differential Mobility Analyser) nel quale le particelle sono caricate e quindi classificate sulla base della loro mobilità elettrica, in altre parole quanto esse deviano sotto l'influenza del campo elettrico.

Il DMA, quando accoppiato al CPC (Condensation Particle Counter) è uno strumento ottimo, dal momento che il CPC ha un range dinamico molto ampio, in particolare può determinare concentrazioni di particolato molto basse. Tale combinazione è normalmente configurata come un SMPS (Scanning Mobility Particle Counter Size).

Fattore rilevante è che esso impiega circa 100s per produrre un intero spettro di dimensioni, perciò l'SMPS non può risolvere i transitori comunemente effettuati dai veicoli.

Fino a che le particelle si differenziano in mobilità elettrica, possono essere classificate, e la concentrazione dell'aerosol monodisperso determinata dal CPC.

Sfortunatamente, il campo elettrico richiesto dall'elevato flusso di ioni tenderà a far precipitare le particelle piccole prima che queste lascino il caricatore.

Concetto dello strumento

Il DMS (Differential Mobility Spectrometer) è un ibrido fra il DMA e l'ELPI (che verrà illustrato più avanti).

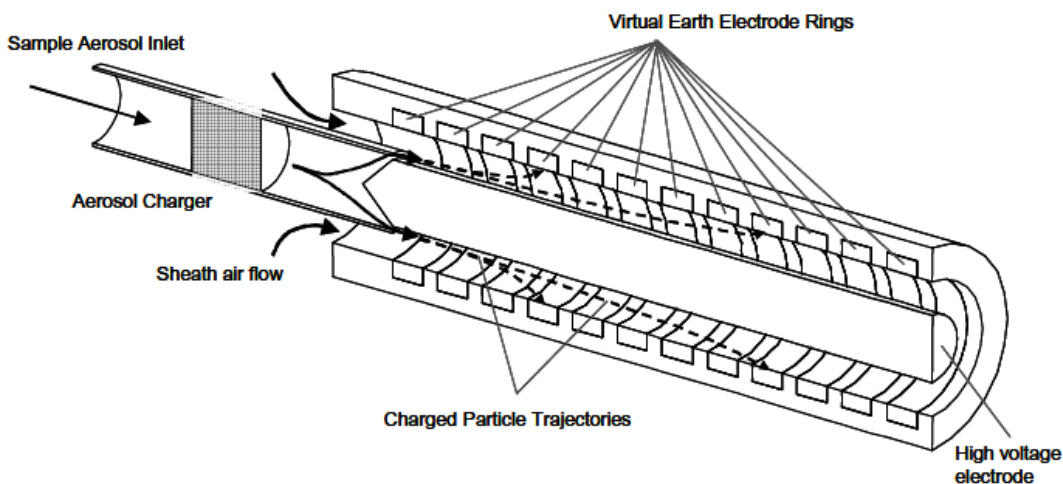


Figura 23 - Schema di un sistema DMS

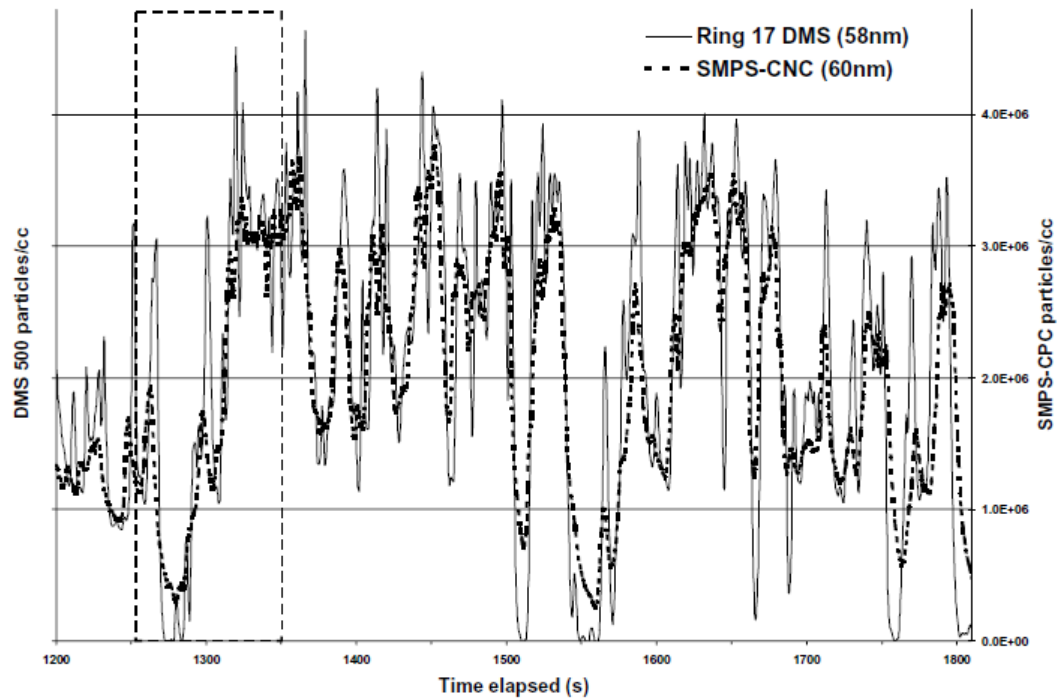
Schema di un DMS: come nell'ELPI le particelle di un campione sono caricate da un caricatore a corona, e come nel DMA sono classificate in base alla loro mobilità elettrica. Il caricatore a corona usa un singolo filo sottile di tungsteno come fonte di ioni. Il flusso campione è esposto a ioni generati nella camera a corona attraverso una griglia.

Un ulteriore e critico aspetto del DMS è che l'elevato livello di carica porta le particelle nel range di carica di interesse a moltiplicare la propria carica. Particelle della stessa dimensione ma con livelli di carica diversi saranno sottoposte a forze elettrostatiche diverse e perciò saranno raccolte in diversi punti assiali.

Al crescere delle dimensioni, la mobilità elettrica diventa sempre meno una funzione delle dimensioni. Per questo motivo, l'EAA (Electrical Aerosol Analyzer) classifica particelle fino a circa 250nm. Riducendo la pressione di esercizio del classificatore a 0.25 bar cresce il libero cammino medio e si ha una buona risoluzione delle dimensioni delle particelle fino a circa 1 micron.

In figura 2 si mostra il confronto di risultati fra DMS e SMPS. Questi mostrano in generale una buona concordanza. E' evidente la maggior larghezza di banda del DMS, capace di mostrare più dettagli in modo

significativo. Ad esempio, durante un taglio di carburante (cut-off), il DMS conferma la diminuzione praticamente con un livello di particelle misurato pari a zero, mentre l'output dell'SMPS non risponde abbastanza velocemente per risolvere appieno questo evento.



Expanded data 1250 - 1350s

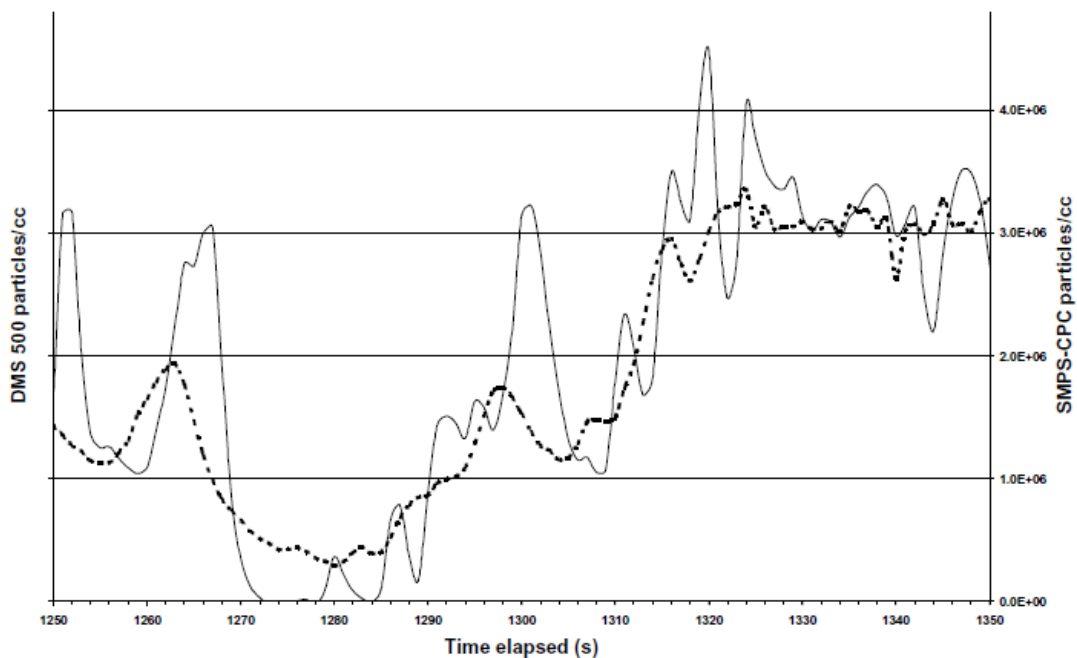


Figura 2 – Confronto di particelle di 60nm fra DMS e SMPS per un motore diesel HD

Electric Low Pressure Impactor (ELPI)

L' ELPI opera in maniera simile al EEPS. Alle particelle di un flusso di gas di scarico è data una carica unipolare facendole entrare nella camera della corona di carica. Da qui il campione d'aria scorre in un dispositivo d'urto di bassa pressione dotato di Elettrometri su ogni piatto d'impatto. ELPI è in grado di misurare continuamente la distribuzione delle dimensioni con frequenza minore di 5 Hz, ma ha un limite inferiore di rilevamento di 3 μ m. È anche in grado di misurare la massa della particella, ma non continuamente. Nel funzionare in questo modo, si comporta allo stesso modo di un dispositivo d'urto di bassa pressione

Scanning mobility particle sizer (SMPS)[9]

L'SMPS misura la distribuzione delle particelle di un flusso di gas di scarico.

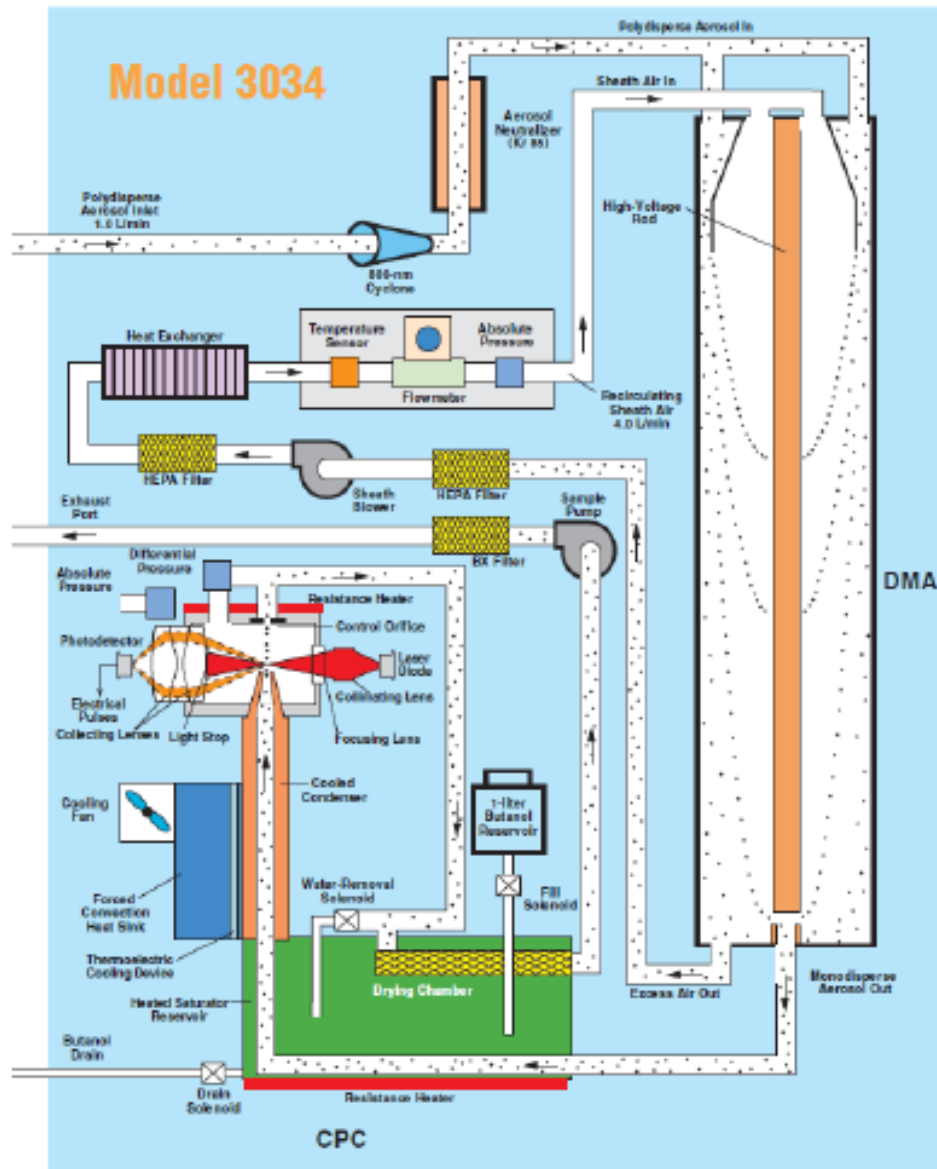


Figura 24 - Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)

Per la natura del suo design, una misura continua non è possibile. Il dispositivo misura selettivamente un range di dimensioni per volta e crea un grafico delle distribuzioni alla fine della misurazione.

Lo strumento lavora in diversi step. Il primo passo è di escludere le particelle sopra una certa dimensione per rimuovere le particelle nel

range di dimensioni tali da causare errori dovuti a cariche multiple. Ciò è fatto con un impactor o con un ciclone.

Il secondo step è la separazione delle particelle in base alla loro mobilità elettrica. Ciò viene fatto con un analizzatore di mobilità differenziale (DMA). Nel DMA, le particelle con carica troppo positiva o troppo negativa o sono intrappolate all'ingresso dell'elettrodo o rimosse attraverso la porta di uscita.

Le particelle sono quindi contate usando un CPC. Il DMA si sposta attraverso un diverso range di mobilità elettrica, ed ogni range è contato. Con questi dati si costruisce poi un diagramma di distribuzione.

I calcoli di PM dai dati dell'SPMS si basano su ipotesi sul volume delle particelle e della dimensione come determinato dalla mobilità elettrica e dalla densità delle particelle.

I calcoli della massa possono essere riportati come sommatorie nel tempo di rilevamento.

Engine exhaust particle sizer (EEPS)[9]

L'EEPS misura la distribuzione dimensionale delle particelle di un flusso di gas di scarico. La sua funzione è un po' paragonabile a quella di un SMPS.

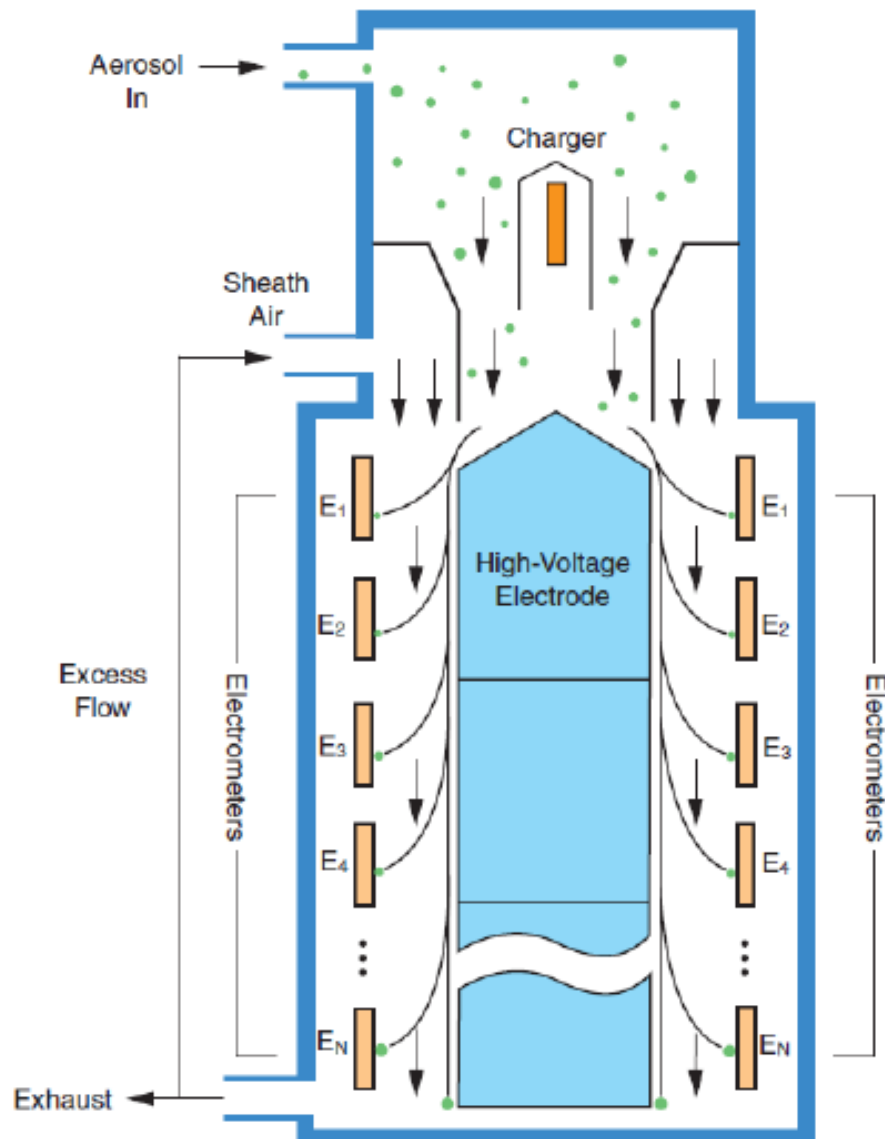


Figura 25 - Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS)

Le particelle sono caricate e quindi separate in base alla loro mobilità elettrica. Misure di particelle con diversa mobilità elettrica si possono effettuare simultaneamente con più dispositivi. Lo strumento fa entrare continuamente un campione di gas di scarico. Questo gas si muove attraverso una camera contenente un caricatore a corona dove le particelle sono continuamente caricate positivamente. Le particelle

entrano poi nella camera di misura, che consiste in una colonna di elettrodi ad alta tensione caricati positivamente e circondati da elettrometri. La carica positiva degli elettrodi respinge le particelle cariche positivamente. Tali particelle deviano dal loro percorso giungendo sugli elettrometri. La mobilità elettrica delle particelle determina la grandezza della deviazione. In questo modo gli elettrometri posti in diversi punti del percorso delle particelle raccolgono particelle con diversi ranges di mobilità elettrica. Questo design consente una misura continua della distribuzione dimensionale, poiché c'è un elettrometro che misura ogni segmento della distribuzione. Comunque, la risoluzione è limitata al numero di elettrometri presenti nel dispositivo.

Tale risoluzione è minore di quella dell'SMPS, che può facilmente essere aumentata riducendo l'effettiva dimensione della fessura del DMA

PASS – photoacoustic sensor system [12]

Il metodo fotoacustico – comparazione con i metodi standard

L'effetto fotoacustico può essere facilmente spiegato dallo schema di figura 25.

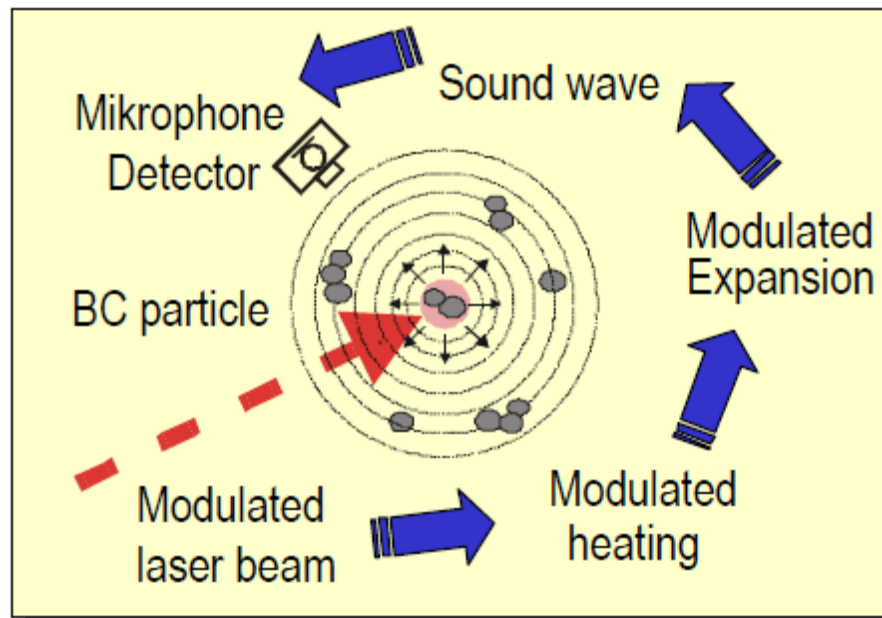


Figura 26 - Principio della misura fotoacustica

Un fascio di luce “intermittente” modulato in intensità produce un periodico riscaldamento delle particelle assorbite quando in posizione “on”, che dissipano il loro calore nello stato “off”. Le risultanti fluttuazioni di pressione sono registrate da un microfono. Si riscontra che l'aria pulita produce un segnale pari a zero.

Il segnale del microfono è legato alla concentrazione di Black Carbon nel volume di misura da un legame lineare.

Tale strumento è capace di misurare la concentrazione di Black Carbon fino a livelli di 0.001 mg/m^3 , o $1 \text{ }\mu\text{g/m}^3$, adatto alla misura di emissioni di motori Diesel che soddisfino le future normative.

Il segnale del microfono mostra una relazione fra la concentrazione di particolati Black Carbon nei gas di scarico per le seguenti proprietà fisiche:

- Un'appropriata lunghezza d'onda del diodo laser garantisce che le interferenze con le altre componenti del gas di scarico, specialmente acqua, siano trascurabili
- Il coefficiente di assorbimento delle particelle di Black Carbon di un motore Diesel, con un diametro medio tipico approssimativamente pari ad 1/10 della lunghezza d'onda del laser, è costante in un range di $\pm 10\%$. Non si hanno problemi su tale coefficiente fino all'85% in massa di sostanze volatili nel particolato
- Altri effetti, come l'evaporazione di sostanze volatili, non avvengono a causa della bassa potenza impiegata

Design del Sistema PASS

Design della cella

Principi della cella del risonatore

Un'immagine semplificata della cella di un risonatore è mostrata in figura 26. La cella contiene un risonatore longitudinale, nel design "open pipe"

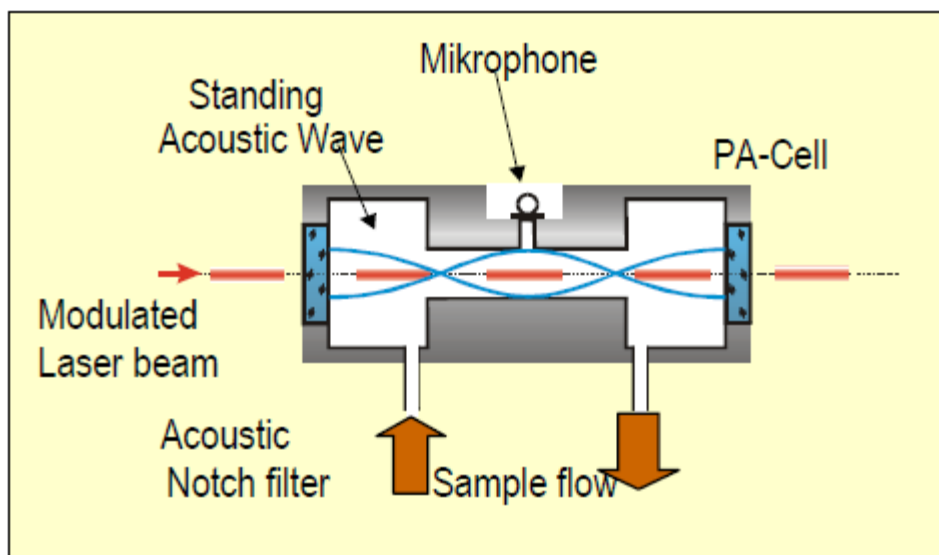


Figura 27 - Immagine semplificata di una cella fotoacustica con risonatore longitudinale

1. La frequenza di risonanza della cella è determinata dalla lunghezza L del risonatore. In caso di risonatore aperto, l'onda

- acustica ha un massimo di pressione nel mezzo, dove dovrà essere collocato il microfono, e due nodi alle due estremità aperte
2. L'aumento di diametro su entrambi i lati definisce l'esatta lunghezza d'onda risonante $\lambda=L/2$
 3. La velocità acustica deve essere zero all'ingresso ed all'uscita della finestra. Poiché la velocità acustica ha uno spostamento di fase di 90° rispetto alla pressione acustica, ci deve essere un massimo di pressione nella finestra. Ciò, insieme al punto 1. implica che la lunghezza totale della cella è circa $n \cdot \lambda/2$
 4. L'ingresso e l'uscita del gas sono posizionati alla fine del risonatore

Caratterizzazione del sistema

Calibrazione della sensibilità

La curva di risonanza indotta dal microfono non solo offre un metodo veloce e perfettamente riproducibile per determinare l'esatta frequenza di risonanza, ma permette anche un controllo affidabile per il controllo della qualità delle componenti acustiche e l'integrità della calibrazione della sensibilità.

Costante di tempo

Anche con un basso flusso di 2 l/min, il tempo di scambio teorico del gas della cella di misura è di soli 0.1s. Tuttavia, il tempo di integrazione $> 0.3s$ della cella di misura, insieme al flusso turbolento nel canale di ingresso circolare producono un incremento del segnale di tempo di $\tau_{10-90} = 0.9s$

Fattore di risposta

Il fattore di risposta è definito dalla relazione fra il Black Carbon ed il segnale del microfono

La curva risultante di calibrazione è mostrata in figura 27. Essa mostra la linearità intrinseca del segnale del PASS con il Black Carbon fino a concentrazioni sotto i $10\mu\text{g}/\text{m}^3$

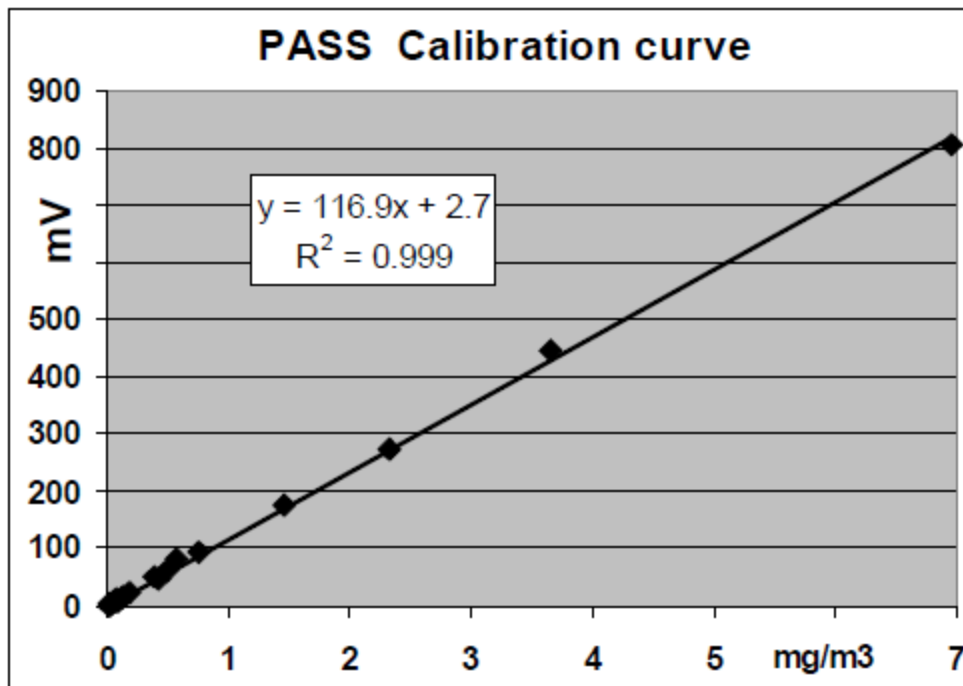


Figura 28 - Curva di comparazione che definisce il fattore di risposta della cella PASS

Interferenza delle componenti dei gas di scarico

L'insensibilità di questo design alle interferenze con le diverse componenti dei gas di scarico è stata testata con successo.

In tabella si possono leggere i segnali acustici causati dall'assorbimento di componenti gassose dei gas di scarico come "BC equivalent", cioè la concentrazione di Black Carbon [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] che produce lo stesso segnale del rilevatore

Tabella 1 - Interferenza delle componenti dei gas di scarico

Component	Concentration ppm	Response , BC equivalent ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CO ₂	160 000	< 2
CO	35 000	< 2
C ₃ H ₈	2 000	< 2
NO	30 000	< 5
NO ₂	300	< 5
N ₂ O	47	< 2
H ₂ O	Saturated vapor, 25°C	< 5
NH ₃	Saturated vapor of a 25% solution, 25°C	< 5
Methanol	Saturated vapor, 25°C	< 2
Toluene	Saturated vapor, 25°C	< 2

Confronto con il rilevatore gravimetrico

Il confronto più semplice si può effettuare dal campionamento simultaneo su un filtro ed attraverso il PASS alla fine del tunnel di diluizione.

Il segnale fotoacustico integrato deve essere proporzionale alla massa di Black Carbon determinata gravimetricamente. Alternativamente, un segnale fotoacustico medio può essere convertito in quantità di Black Carbon con l'uso di un fattore di calibrazione come mostrato in figura 27 e può essere comparato alla concentrazione di massa media durante il ciclo.

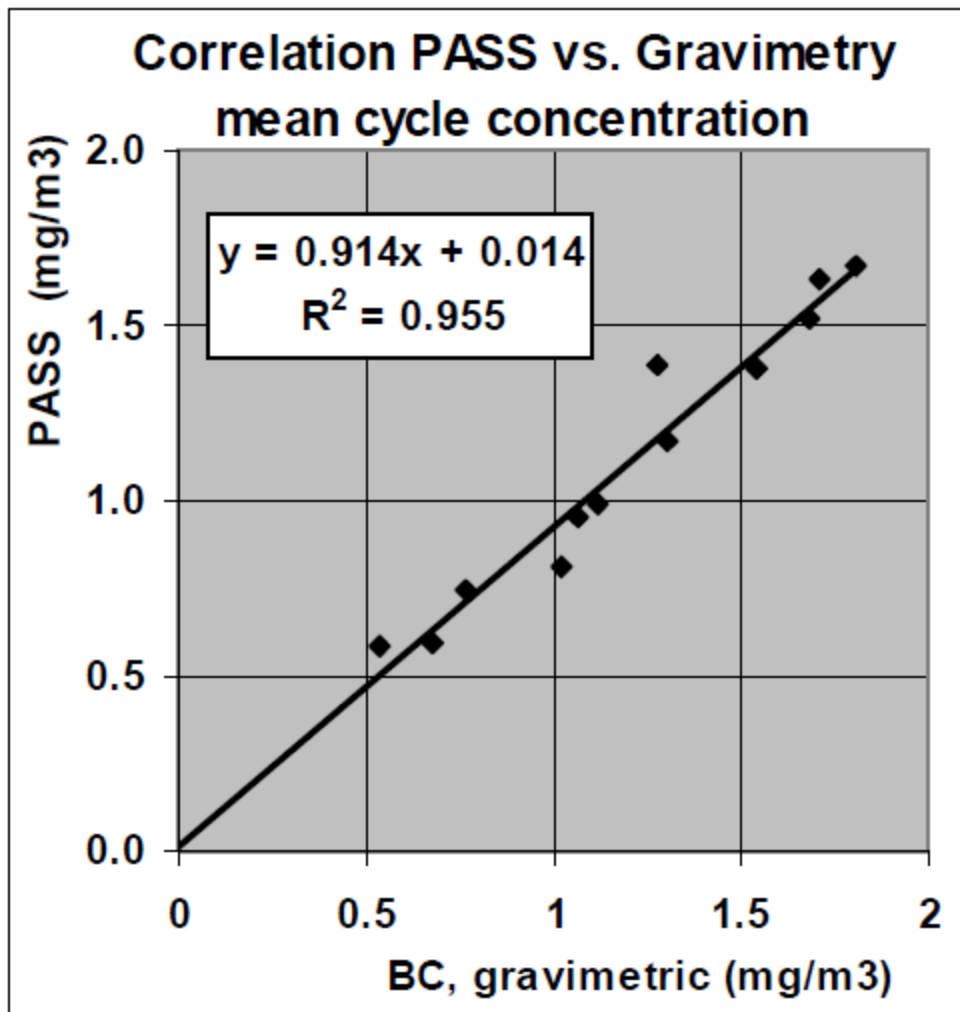


Figura 29 - Correlazione fra il segnale medio del PASS ed il carico medio gravimetrico di BC durante test in cicli transitori
Al PASS corrispondono pertanto le migliori prestazioni come segnalato dagli strumenti di misura nei transitori.

Si può dunque affermare come da ampie caratterizzazioni ed ottimizzazione agli elementi finiti, il PASS si è rivelato avere una sensibilità al Black Carbon fino al $\mu\text{g}/\text{m}^3$, buone linearità e riproducibilità.

Uno strumento prodotto dall'AVL il "Micro Soot Sensor" [5] (Photo Acoustic Soot Sensor – PASS) si propone come capace di misurare la concentrazione di soot con elevata risoluzione temporale e sensibilità, per poter valutare i test di certificazione ETC (European Transient Cycle) [4].

Capitolo 7

Laser induced incandescence [2, 9, 13]

Teoria [13]

La tecnica di misura LII è una tecnologia emergente che offre un mezzo affidabile per la misura spaziale e temporale della frazione volumetrica di soot e per la misura delle dimensioni delle particelle primarie di soot nei fumi di scarico. LII è una tecnica di misura real-time che può essere usata per misure in-situ delle emissioni di particolato. Lo strumento può essere anche usato con linee di campionamento.

Nel LII, il soot che entra in contatto con il raggio laser è rapidamente riscaldato usando una sorgente di laser pulsata con una durata tipica inferiore ai 20ns. Il soot è riscaldato fino ad una temperatura circa uguale alla propria temperatura di vaporizzazione o, più precisamente, di sublimazione (circa 4000 o 5000 K).

In figura 29 è mostrato il processo che avviene quando un campione di soot è energizzato dalla luce laser. Il soot alza la propria temperatura per l'energia assorbita e quindi cede tale energia all'ambiente circostante, facendo salire la temperatura di tutto il campione. Se l'energia assorbita è sufficiente, si ha incandescenza (radiazione di corpo nero).

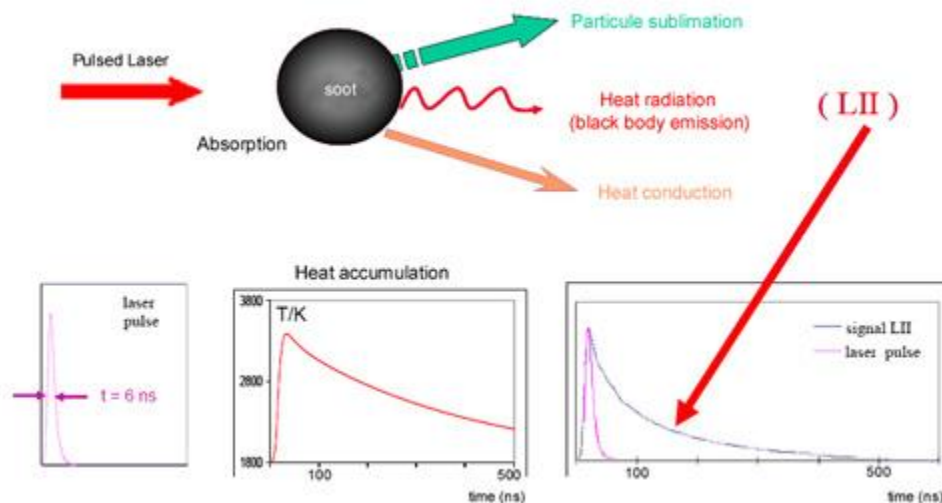


Figura 30 - Teoria operativa del LII (Laser Induced Incandescence)[9]

L'incandescenza delle particelle di soot è misurata usando rivelatori fotoelettrici e raccolta ottica. Con un'appropriata calibrazione ed analisi del segnale di incandescenza si possono ottenere informazioni sulla frazione volumetrica di soot e sulle dimensioni delle particelle primarie di soot. Il metodo è in gran parte non intrusivo e capace di svolgere misure in-situ in un'ampia gamma di concentrazioni di soot sia in condizioni di fiamma che ambientali.

Tuttavia non è completamente non perturbante poiché il riscaldamento laser può influenzare la morfologia del soot.

Applicazioni [13]

Tale strumento, nella fattispecie il LII-200 prodotto da Artium Technologies, Inc.[9], ha dimostrato capacità fondamentali nel monitorare il Black Carbon nelle emissioni di veicoli ed anche nell'uso on-board. Nelle figure sono presentati i risultati utili per applicazioni nella costruzione di processi di controllo del Black Carbon (figura 30) e per la misura delle emissioni allo scarico di un motore diesel (figura 31).

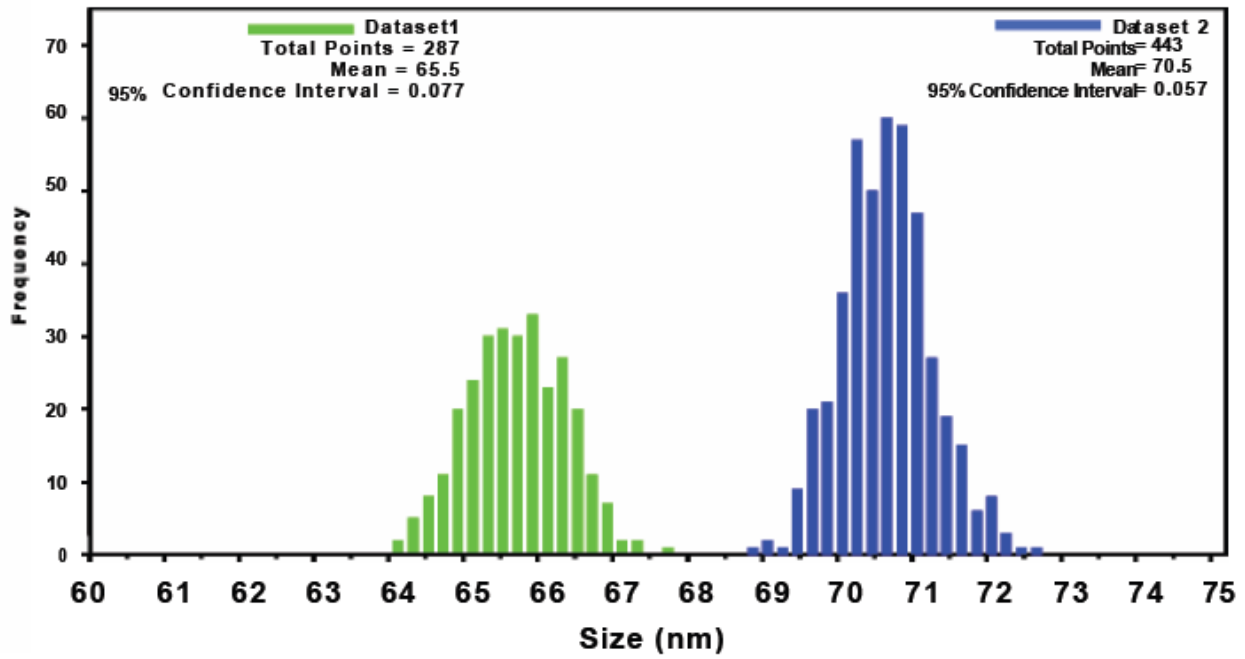


Figura 31 – Misure delle dimensioni di PM in due diverse condizioni di processo produttivo

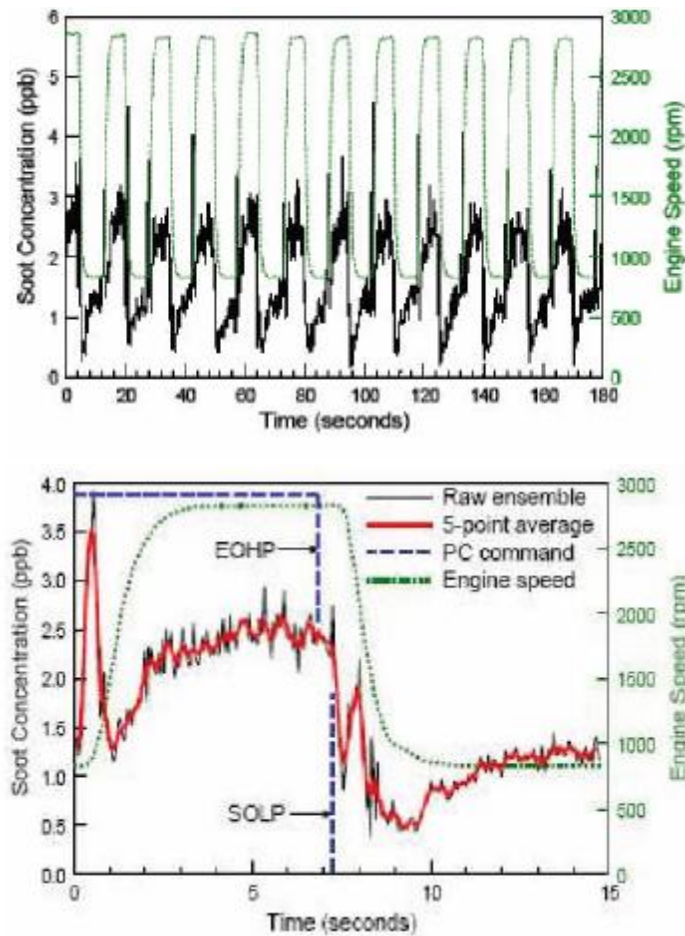


Figura 32 – Misura di emissione di soot allo scarico di un motore diesel

La tecnica LII è capace di misure real-time durante cicli transitori. La frequenza di misura è limitata solamente dalla ripetibilità del laser pulsato ad elevata potenza (tipicamente 10÷30 Hz, corrispondenti ad una misura per ciclo motore a 1200÷3600 rpm). Perciò, una media di insieme per molti cicli motore può essere usata per ricostruire il comportamento in transitorio.

La frequenza di misura real-time è adeguata per osservare i transitori del motore e del veicolo, come quelli che avvengono nei cicli di guida. Oltre a misurare la frazione volumetrica di soot, si possono anche dedurre la dimensione delle particelle primarie e la superficie specifica.

Si analizzano ora le caratteristiche principali di uno strumento LII [2]:

Concentrazione:

Limite inferiore	< 1.0 parti per trillion (10^{12}) <2 mg/m ³
Limite superiore	10 parti per milione 20 g/m ³

Dimensione delle Particelle Primarie

Range	> 1000000:1
Precisione	± 2% del max

Superficie Specifica

Superficie del soot / Diametro della Particella Primaria

Capitolo 8

Misuratore di pm allo scarico per uso on-board [14]

Introduzione

Il CVS è un tunnel di diluizione totale [15]. Diluisce proporzionalmente tutto il flusso dei gas di scarico con aria filtrata al fine di ridurre la temperatura, ma evitando allo stesso tempo la formazione di condensa. I gas all'uscita del CVS sono poi inviati ad un sistema di misura. Questo sistema ha dimostrato una grande precisione sulle misure di PM, tuttavia è costoso, di grandi dimensioni e non portatile. Inoltre, uno specifico CVS può essere utilizzato solo per certi motori.

Un sistema di diluizione parziale invece prende solo una parte dei fumi di scarico del motore. Ha diversi vantaggi tra cui un minor costo, dimensioni più ristrette ed è utilizzabile su motori di ogni taglia.

A causa della natura del processo di diluizione, un complicato sistema di controllo deve essere integrato per il funzionamento nei transitori.

La norma ISO 16183 [3] lo approva come uno strumento alternativo per la misura delle emissioni gassose e di particolato sia nell'uso in stazionario che nei transitori. E' inoltre approvato per misure stazionarie dall'EPA (US Environmental Protection Agency) in cicli CFR parte 1065 [45].

Il sistema di diluizione parziale potrà rivestire un ruolo importante nella misura del PM.

Sebbene i test di laboratorio siano stati utili per lo sviluppo di veicoli e motori, il funzionamento in strada, e quindi le emissioni del veicolo, sono differenti da quelle trovate in laboratorio. Gli strumenti OBS-2000 di Horiba [16] e SEMTECH-D di Sensor [17] hanno mostrato promettenti risultati nei test per la misura delle emissioni di PM nell'uso on-board.

Specifiche e design dell'OBS-PM

L'Horiba OBS-PM (on-board diesel exhaust particulate sampler) è un sistema di prelievo del particolato a filtro usato per misure on-board di PM. Preleva il campione sia da gas di scarico grezzi che diluiti. I gas diluiti passano attraverso un filtro pre pesato di 47 mm dove si raccoglie il PM. Pesando tale filtro si possono determinare le emissioni di PM del motore.

Il protocollo dei test di misura delle emissioni di PM emanato nel 2007 dall'EPA (US Environmental Protection Agency) richiede che la superficie del filtro abbia una temperatura di $47 \pm 5^\circ\text{C}$, che la velocità della superficie del filtro sia uguale o minore a 1.0 m/s e che la dimensione del filtro sia di 47mm. La norma ISO 16183 richiede che la velocità della superficie del filtro stia nel range $0.35 \div 1.0$ m/s.

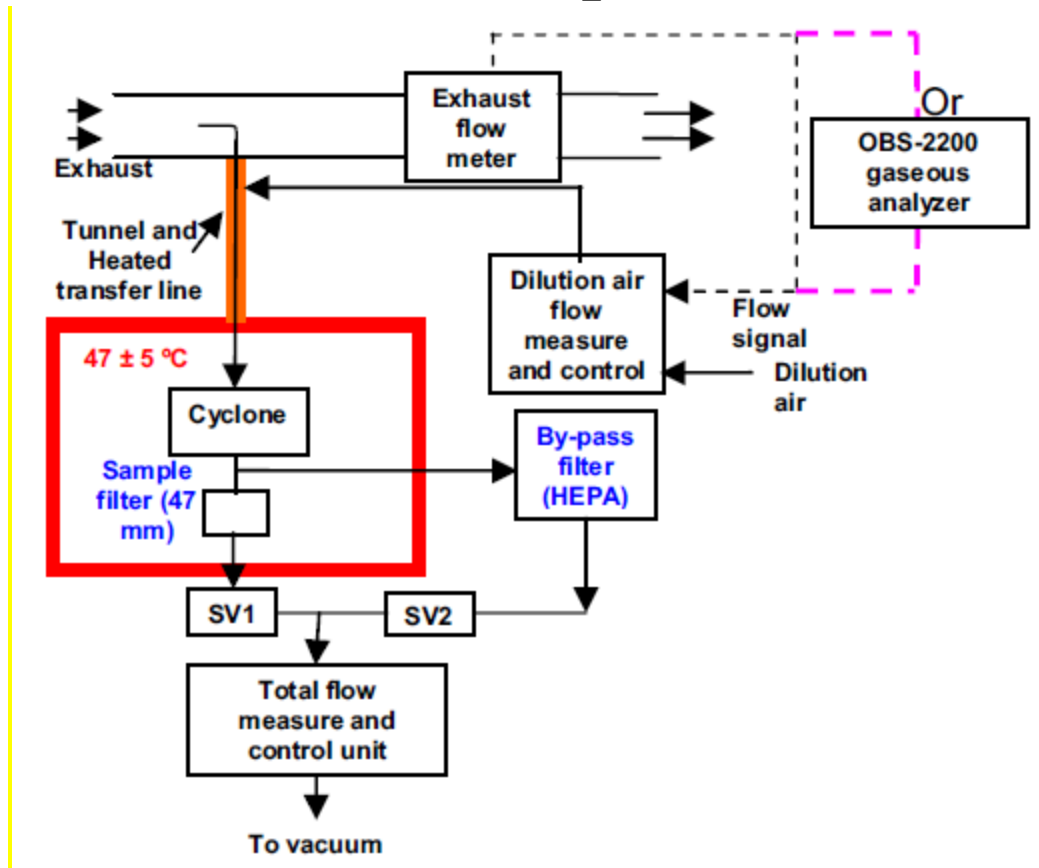
L'OBS è basato su queste richieste e le sue specifiche sono presentate in tabella 2.

Tabella 2 - Specifiche principali dell'OBS-PM

Total flow (slpm)	25 to 30
Dilution ratio	$\geq 4:1$
Control strategy	Steady-state and proportional control
Filter	47 mm for sample filter, and a HEPA filter for By-pass filter
Filter face Temp (°C)	47 ± 5
Particle size (μm)	Between 2.5 and 10
Dilution ratio accuracy	$\pm 4\%$ for dilution ratios from 4 to 20:1 @ 30 slpm
Power	Four 12V batteries
Power consumption (Watts)	< 500

L'OBS può operare sia con un rapporto di diluizione stazionario, sia con un controllo proporzionale. Il minimo rapporto di diluizione è di 4:1. Un compressore d'aria funzionante a 12V fornisce l'aria di diluizione al sistema. Per il limite di aria compressa disponibile a bordo, il filtro di misura è disegnato per un range di 25÷30 slpm (standard liters per minute), che consente una velocità di $0.4 \pm 0.48 \text{ m/s}$ alla superficie del filtro. Un ciclone di acciaio inossidabile è inoltre installato per evitare di raccogliere particelle più grandi di $10 \mu\text{m}$.

Tabella 3 - Schema a blocchi di un OBS_{PM}



I diametri e le lunghezze della linea di trasferimento e del tunnel sono scelti per assicurare il corretto tempo di residenza del gas nell'OBS (1.0÷1.5s) per simulare il tempo di permanenza in un tunnel CVS in un campionamento col protocollo 2007 [46].

Nell'OBS-PM ci sono due filtri, uno per il campionamento ed uno di by-pass. Prima dell'esecuzione del test il flusso è stabilizzato nel passaggio attraverso il filtro di by-pass.

Il flusso totale ed il flusso di aria di diluizione sono misurati da un tubo di flusso di Venturi (VFM) rilevando la pressione assoluta e la temperatura del gas nel flusso e la differenza di pressione nel venturi.

Per utilizzare l'OBS-PM per un controllo proporzionale, è necessario un flusso dei gas di scarico real time. Un tubo di Pitot è usato per misurare il flusso dei gas di scarico. Questo misura direttamente la pressione totale (somma della pressione statica e della pressione dinamica) e la pressione statica. Dalla pressione dinamica, differenza fra pressione totale e pressione statica, si misura quindi la velocità del flusso nel punto di misura

Per rendere l'OBS-PM uno strumento PEMS (Portable Emission Measurement System) devono essere minimizzati le dimensioni ed il peso dello strumento. L'unità di controllo dello strumento, che include il misuratore di flusso, i sensori di pressione ecc. è separata dall'ambiente riscaldato, dalla linea di trasferimento e dal tunnel. Può così essere installata in ogni posto del veicolo da testare. Il consumo elettrico è minore di 500W e lo strumento è pensato per funzionare consecutivamente con 4 batterie da 12 V.

Setup sperimentale

Verifica del rapporto di diluizione e del tempo di risposta

L'OBS 2000 è stato utilizzato insieme al misuratore on-board di gas emessi Horiba OBS-2200. E' stato comparato agli strumenti di laboratorio delle emissioni gassose.

Sono stati effettuati per questo 4 differenti test. EPA FTP in ciclo transitorio, EPA FTP per il ciclo transitorio col by-pass del DPF, ciclo stazionario I (SSI) e Steady State II (SS2).

Il CVS e l'OBS_PM sono stati fatti funzionare con la stessa velocità della superficie del filtro, 0.48 m/s, per tutta la durata del test.

Sono stati utilizzati gli stessi filtri, Teflo (47mm di diametro, 2 μ m di profondità ed il 99.99% di efficienza per 0.3 μ m DOP- Diameter Of Particle).

E' stato installato un filtro ad alta efficienza di filtraggio dell'aria (HEPA) per avere aria di diluizione senza particelle. In Tabella 6 sono indicate le caratteristiche del CVS con una seconda diluizione.

Tabella 4 - CVS con la seconda diluizione ed OBS-PM

Item	CVS with 2 nd dilution	OBS-PM
Residence time (s)	~ 1.0 s	~ 1.0 s
Filter face velocity (m/s)	0.48	0.48
Filter face temperature (°C)	47 ± 5 °C	47 ± 5 °C
Filter media	Teflo	Teflo
Backup filter	No	No
Dilution air temperature (°C)	20 to 25 °C	Not controlled
DR for the 2 nd dilution	2:1 for FTP 3:1 for FTP w/ by-pass, SS1, and SS2	Not available
Dilution air supply	Ambient air with HEPA filter	Shop air with a HEPA filter

Risultati

Il rapporto di diluizione è un parametro chiave che influenza i risultati del test. E' stato verificato con misure su campioni del flusso. In figura 32 si vede la differenza percentuale fra i rapporti di diluizione dell'OBS-PM e quelli di riferimento.

Una curva di calibrazione è usata nell'OBS-PM per correggere il flusso di diluizione. La si ottiene per calibrazione dei flussi di diluizione e totale del VFM con il misuratore di flusso esterno. La differenza fra il flusso di aria di diluizione VFM ed il totale VFM è minimizzata con la calibrazione. In figura 32 si vedono 3 diverse curve di calibrazione usate per verificare l'accuratezza dei rapporti di diluizione del OBS-PM.

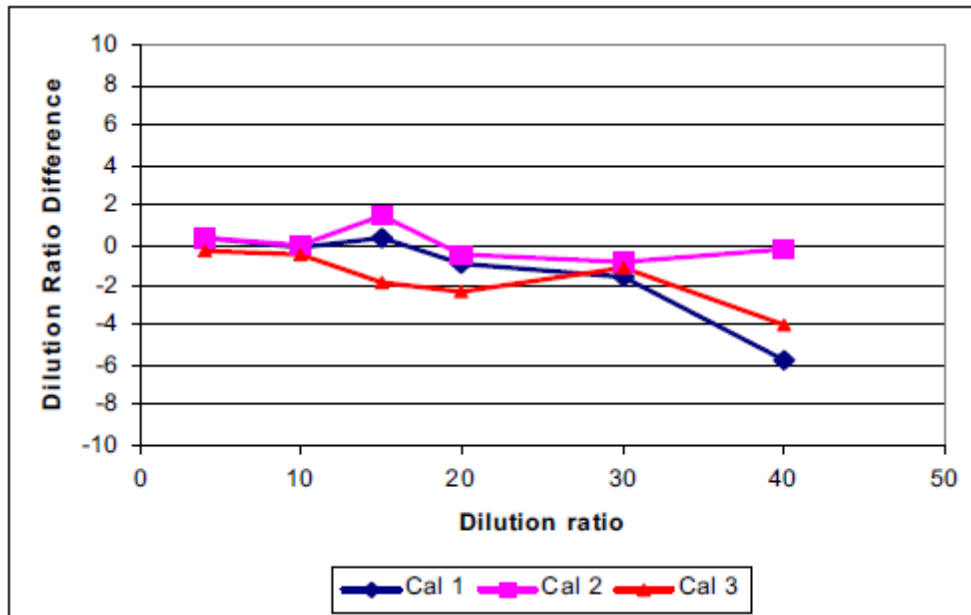


Figura 33 - Differenza percentuale del rapporto di diluizione dell'OBS-PM con il rapporto di diluizione di riferimento (30slpm di flusso totale)
 Tutte e 3 le curve mostrano un'accuratezza di $\pm 2\%$ per rapporti di diluizione nel range 4:1÷30:1, ma la curva 2 mostra un'accuratezza bassa fino a rapporti di 40:1 ed è stata usata per correggere i rapporti di diluizione dell'OBS-PM nei test.

La figura 33 mostra i risultati del test per la risposta temporale. Il test segue la procedura raccomandata nella normativa ISO 16183 [3] per determinare il tempo di trasformazione.

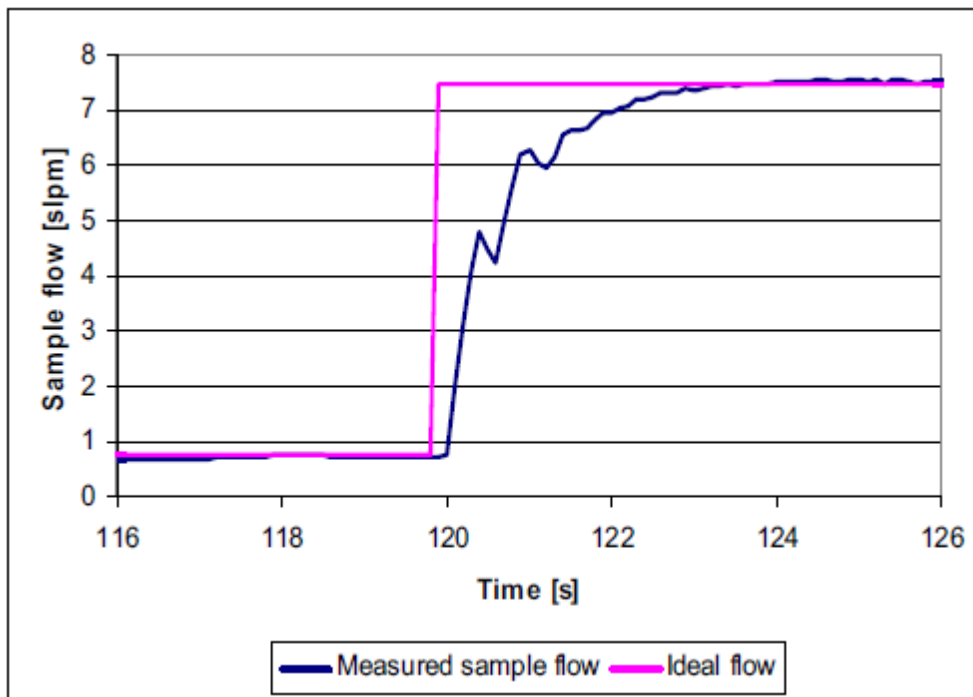


Figura 34 – Test di risposta temporale per l'OBS-PM (il flusso di gas di scarico varia da basso ad alto in 0.1s)

Si è fatto variare il flusso campione da 0.75 a 7.75 slmp (standard liters per minute). Il tempo medio di variazione per l'OBS-PM (incluso 0.1s per la funzione a gradino) è di 0.4s che è di poco maggiore degli 0.3s richiesti dalla ISO 16183 per il controllo on-line.

L'OBS-PM è progettato per le misure on-board. E' impossibile prevedere e ripetere cicli di guida on-road predefiniti. Perciò la previsione, consigliata per tempi di trasformazione maggiori di 0.3s nella norma ISO 16183 [3], non si può eseguire per test in strada. Per simulare l'utilizzo stradale dell'OBS-PM si è usato il controllo on-line nel test di correlazione test.

Test di correlazione

Sono stati eseguiti 4 cicli, FTP, FTP con by-pass del DPF, SS1, SS2 per valutare la correlazione fra OBS-PM e CVS

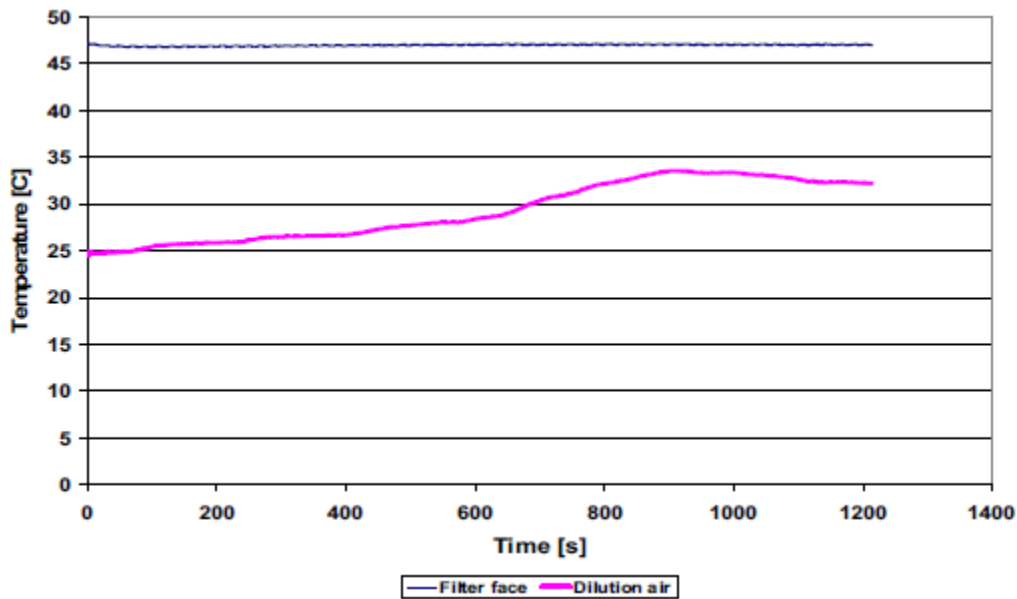


Figura 35 – Temperatura della faccia del filtro e dell’aria di diluizione per il ciclo FTP

Nella figura 34 si nota come la temperatura delle superficie del filtro sia costantemente vicina ai 47°C mentre la temperatura dei gas di scarico vari. La temperatura dell’aria di diluizione varia in un range di 25÷35°C. L’OBS-pm ha mostrato un buon controllo della temperatura della faccia del filtro.

In tabella 5 si notano gli errori standard ed il coefficiente di regressione lineare (R^2 in figura 11) per il controllo proporzionale nel ciclo FTP comparato con le richieste della ISO16183. Le richieste della norma si nota come siano soddisfatte per il controllo proporzionale

Tabella 5- Errori standard con il massimo flusso campione ed R^2 per il ciclo FTP dall’OBS-PM e dalla ISO16183 [3]

Item	OBS-PM	ISO 16183
R^2	0.9964	≥ 0.95
Standard error with Max. flow	1.705%	< 5%
Intercept for sample flow	0.0232%	Not exceeds $\pm 2\%$ of the max. sample flow

La figura 35 mostra gli errori standard con il flusso massimo ed R^2 per i cicli FTP, FTP con by-pass del DPF, SS1, SS2.

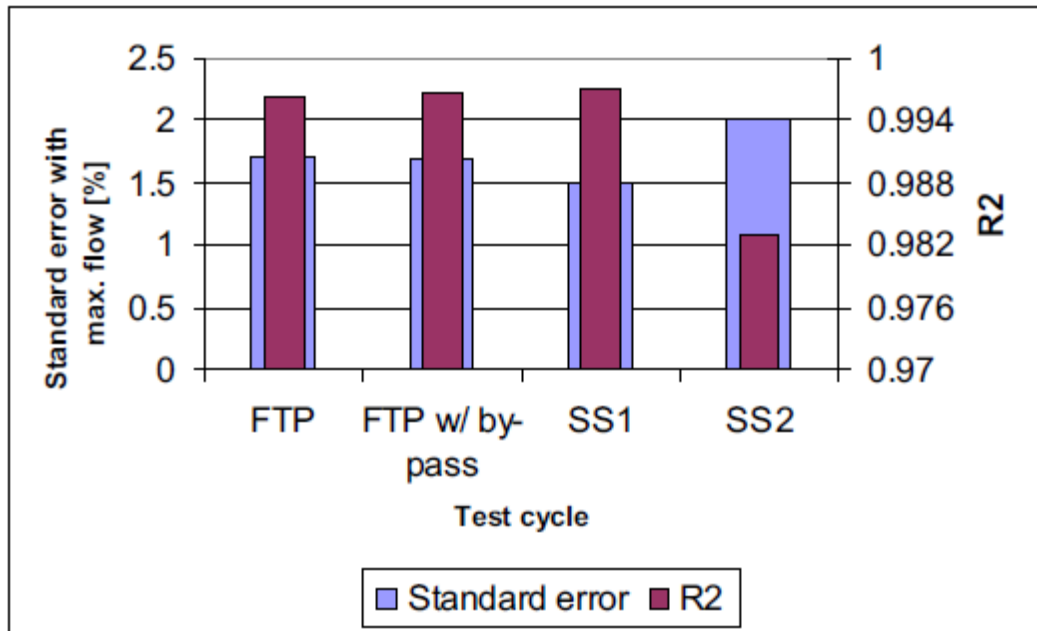


Figura 36 - Errori standard con il flusso massimo ed R^2 per alcuni cicli
 La norma ISO16183 [3] richiede che la differenza di pressione che si ha nel passaggio dal filtro non sia maggiore di 25kpa, per non avere un sovraccarico dello stesso. Nell'OBS-PM, la differenza di pressione nel filtro è monitorata da un trasduttore di pressione. Si riportano in Figura 36 le differenze di pressione real-time nel ciclo FTP con by-pass del DPF.

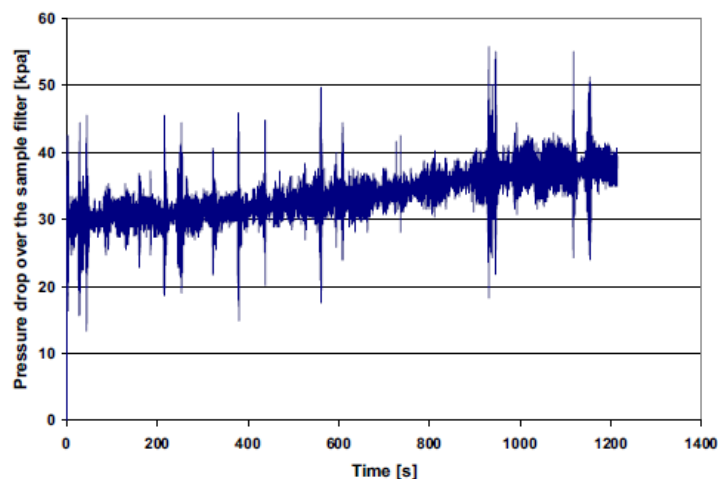


Figura 37 - Differenze di pressione attraverso il filtro campione misurate in un ciclo FTP con by-pass del DPF

In figura 37 vi sono le emissioni di PM ed i COV (Coefficient Of Variation) nei cicli di test FTP, FTP con by-pass del DPF (FTP w/BP), SS1, SS2.

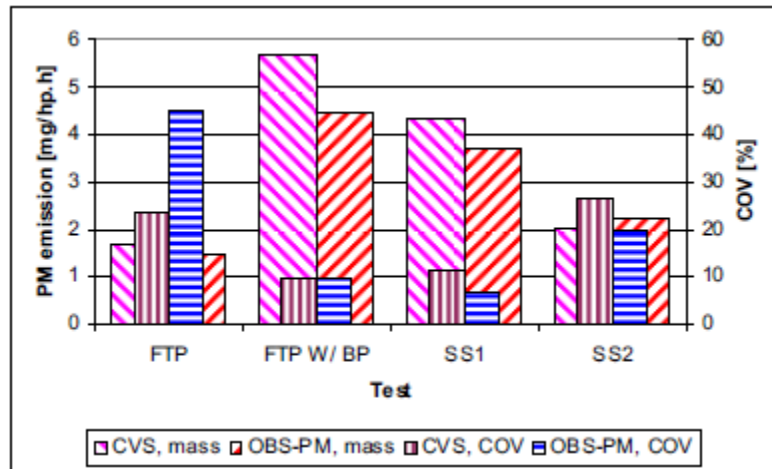


Figura 38 - Emissioni di PM e COV per FTP ed FTP con by-pass, SS1 ed SS2

Nei cicli FTP con by-pass del DPF, SS1, SS2, l'OBS-PM mostra COV paragonabili e quelli del CVS con la seconda diluizione, e la ripetitività dell'OBS-PM è leggermente migliore di quella del CVS. Il COV dell'OBS-PM per il ciclo FTP è più grande di quella del CVS con seconda diluizione.

In sintesi, la ripetibilità dell'OBS-PM è paragonabile a quella del CVS con la seconda diluizione.

Nelle figure 38 e 39 le masse nulle di PM misurate con il CVS e con l'OBS-PM sono poste a confronto delle masse di PM del ciclo FTP, rispettivamente. Per il ciclo FTP infatti, un periodo di 20 minuti caratterizzato da emissioni nulle di PM è stato fatto seguire ad ogni test. Mentre era registrato un valore nullo di emissioni di PM, il CVS ed il sistema di diluizione secondaria funzionavano come durante il test, con la differenza che il motore era spento e che nel tunnel del CVS non entravano i gas di scarico del motore.

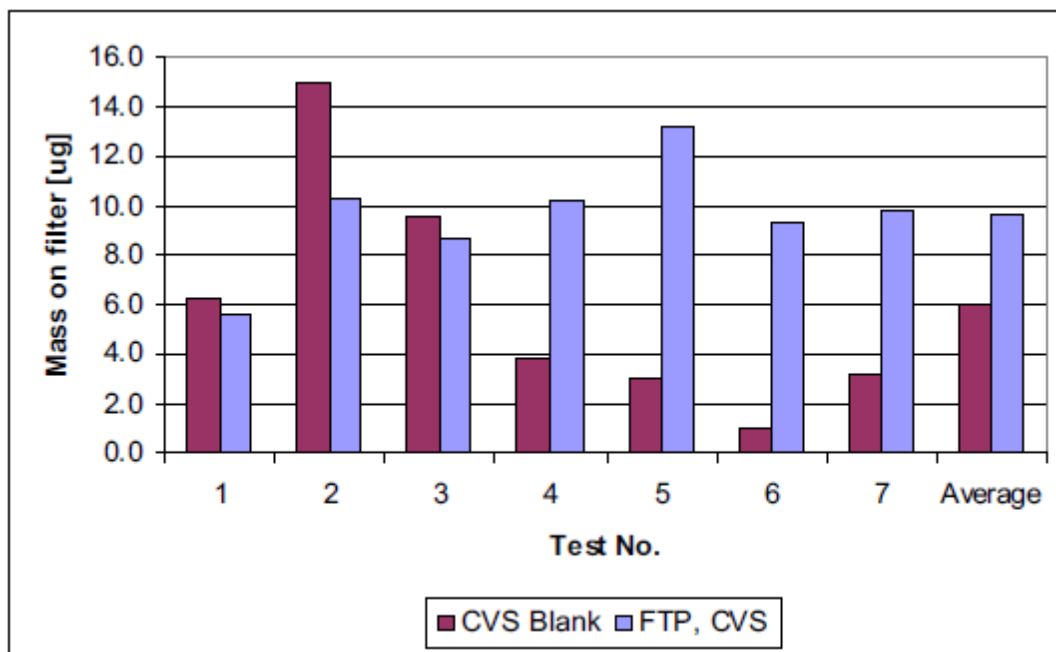


Figura 39 – Masse nulle e nel ciclo FTP da un CVS con seconda diluizione

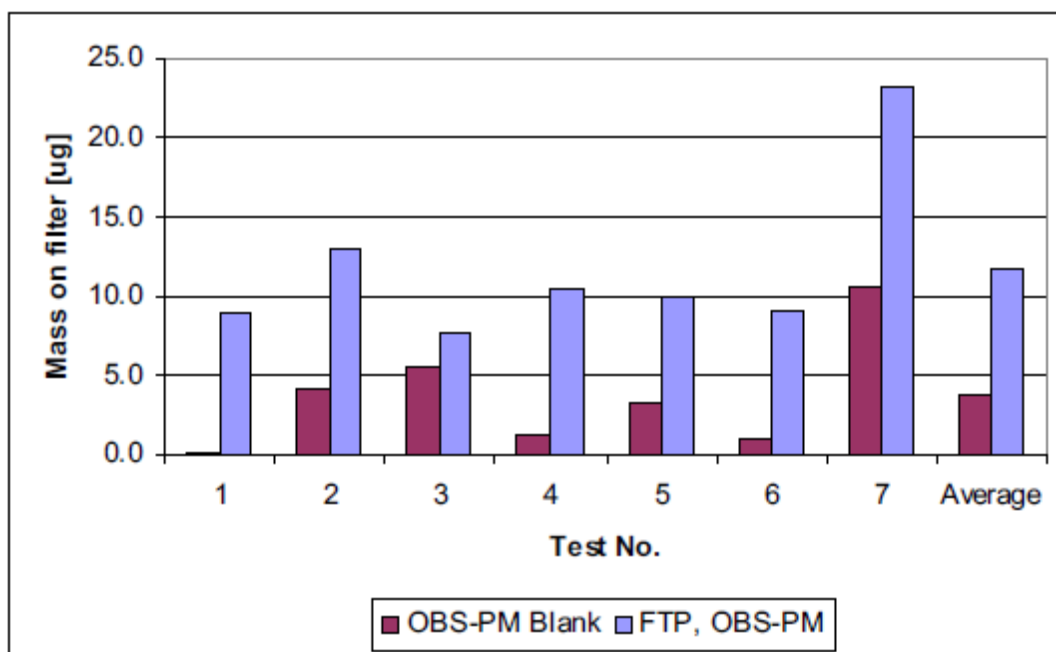


Figura 40 – Masse nulle e nel ciclo FTP dall'OBS-PM

Non essendo noto quanto la massa di PM sia influenzata dalle emissioni nulle di PM, non c'è correzione per questi risultati. E' quindi necessario ridurre le emissioni di nulle di PM poiché esse influenzano l'accuratezza delle misure di emissioni di PM. L'OBS-PM mostra meno emissioni

nulle di PM rispetto al CVS e ciò è un gran vantaggio. Dal momento che l'OBS-PM è portatile e meno costoso rispetto al CVS è più facile diminuire le emissioni di Blank da questo rispetto al CVS.

Perciò, l'OBS-PM presenta performance comparabili agli strumenti da laboratorio PFSS, pur ricordando che il suo utilizzo deve restare confinato alla NTE (Not To Exceed) zone, cioè il campo di funzionamento del motore nelle normali condizioni di utilizzo.

Capitolo 9

Altri metodi di misura [9]

Ci sono un certo numero di strumenti disponibili per la misurazione dei diversi componenti del particolato nello scarico. Il seguente elenco dei dispositivi di misura, che non si vuole ritenere completo, è stato compilato per fornire una panoramica delle tecniche disponibili.

Nefelometro/ Diffusione ottica Laser /Mie Scattering

Un modo per misurare la *quantità di particelle* è quello di misurare la diffusione della luce su un campione di aerosol. Viene utilizzata o una sorgente di luce alogena o una sorgente di luce laser per illuminare un campione di gas. Uno specchio posto a 90° rispetto la sorgente di luce concentra la luce sparsa dall'aerosol su un rilevatore.

Impactor

Gli Impactors, Figura 41, sono degli strumenti progettati per *separare le particelle in base alle dimensioni*. Possono essere utilizzati in un'unica fase al fine di escludere le particelle di grandi dimensioni dalla misurazione, come ad esempio un separatore di livello iniziale per un campionamento con un filtro di massa PM₁₀ o PM_{2.5} o a livello multistadio per separare le particelle da usare in un metodo di analisi della distribuzione.

La teoria alla base del relativo funzionamento è l'uso delle curve nel flusso d'aria per rendere le separazioni basate sulla condizione che una particella abbia una tale massa da seguire il flusso, o inerzialmente resistere alla direzione di scorrimento e seguire il relativo percorso iniziale. Le curve nel flusso d'aria vengono create da un piatto di impatto del flusso. Il flusso si muove intorno alla piastra che trasporta le

particelle leggere con sé. Le particelle più pesanti continuano il loro percorso e impattano sul piatto. Una serie di piastre, figura 42, può essere impostata con i maggiori cambiamenti nell'angolo del flusso d'aria. In questo modo, una serie di piastre può raccogliere una distribuzione in base alla dimensione delle particelle. Possono esserci errori nella misura se le particelle più pesanti “rimbalzano-indietro”, fuori dai piatti d’impatto e continuano giù per la corrente d'aria. Ciò può essere evitato applicando strati sottili di olio alle piastre. Tuttavia, questo può complicare le misure della massa finale.

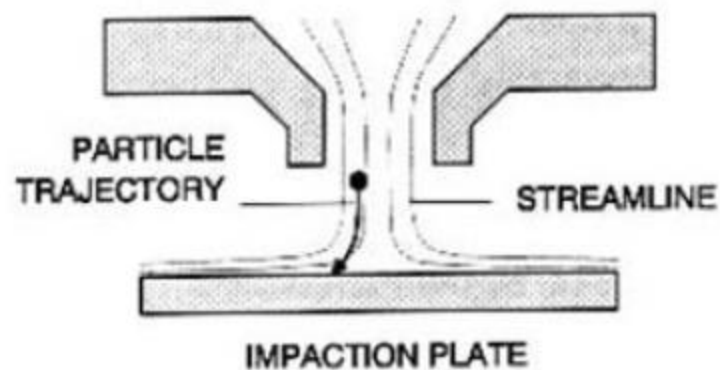


Figura 41 - Piatto ad impatto singolo

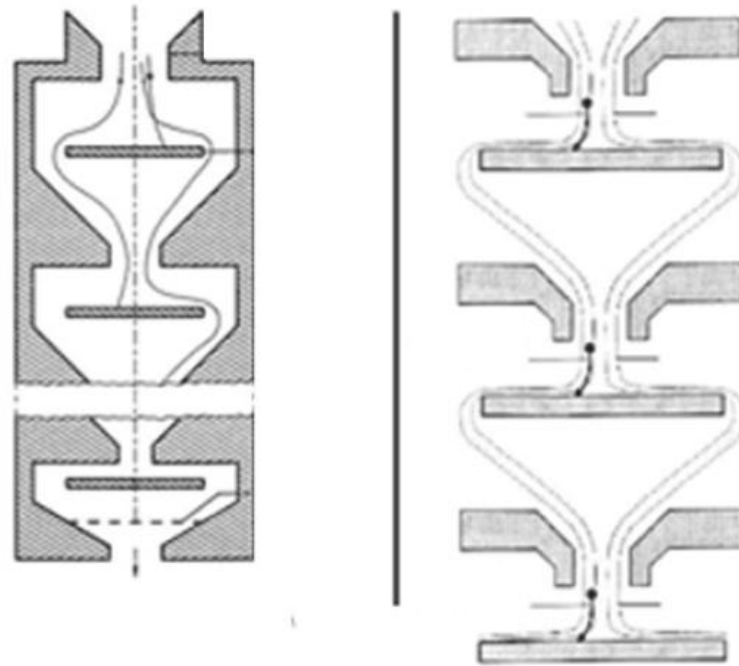


Figura 42 - Piatto ad impatto multiplo

I cicloni

I Cicloni, figura 43, non sono strumenti di misura, ma sono spesso utilizzati in combinazione con altri strumenti allo scopo di *filtrare le particelle più grandi*. I dispositivi utilizzano la forza centrifuga per rimuovere le particelle più grandi dal flusso di gas di scarico. Lo scarico entra attraverso un ingresso di pressione più bassa. Il flusso allora circonda il tubo d'ingresso conico che genera un vortice. Le particelle più piccole sono in grado di seguire il percorso circolare del flusso di scarico e sono trasportate ad un dispositivo di misura. Le particelle più grandi hanno troppa inerzia per seguire questo percorso ed impattano contro le pareti laterali del tubo conico, rimuovendosi così dalla misura.

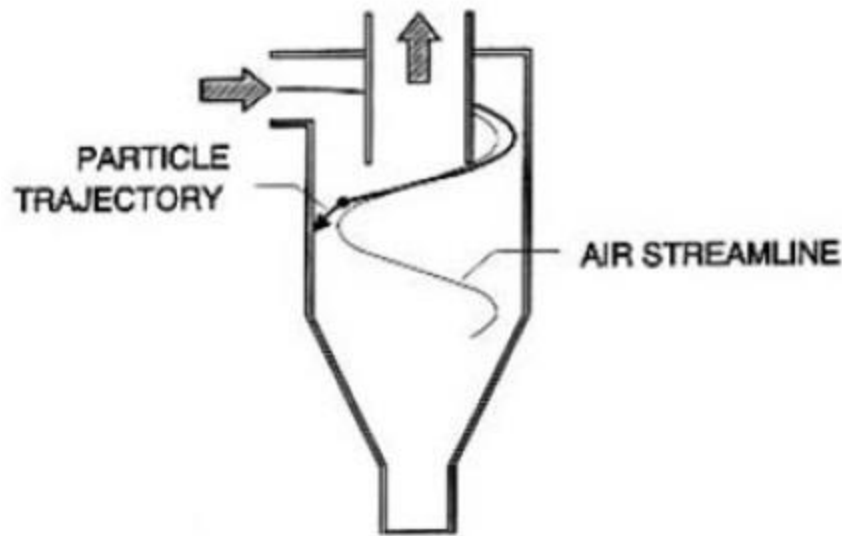


Figura 43 - Schema di un ciclone

Aerodynamic Particle Sizer (APS)

L'APS misura il *tempo di volo*. Questa proprietà è connessa al diametro aerodinamico equivalente per determinate dimensioni di particelle. In pratica, un flusso della frazione di scarico passa attraverso due ugelli di accelerazione. Il tempo di volo è quindi misurato dal passaggio fra i due raggi laser. Le particelle aventi diametro aerodinamico piccolo vengono accelerate più velocemente dagli ugelli e passano più rapidamente tra i fasci. Le particelle sono poi contate, e può quindi essere determinata una distribuzione delle dimensioni del campione.

Electrical Aerosol Detector (EAD)

L'EAD, figura 44, effettua misurazioni continue di *concentrazione del diametro di aerosol*. Lo fa dividendo un flusso campione in due parti. Una parte del campione è portata direttamente in una camera di miscelazione. La parte restante viene fatta passare attraverso dei filtri per rimuovere tutte le particelle del gas di scarico. Il campione filtrato poi passa attraverso una corona e trasporta gli ioni della corona nella camera di miscelazione. Lo scopo di questo è duplice. In primo luogo, ionizzando indirettamente le particelle del gas di scarico, nessuna particella di polvere viene persa alla superficie del caricatore della corona. In secondo luogo il processo di miscelazione, noto come

"contatore del flusso di diffusione della carica" pone uno stato definito di carica sulle particelle del campione. Il flusso della corrente è quindi misurato da un elettrometro. Il segnale può essere convertito in diametro delle particelle dalla relazione lineare col numero di unità elementari della carica sulle particelle.

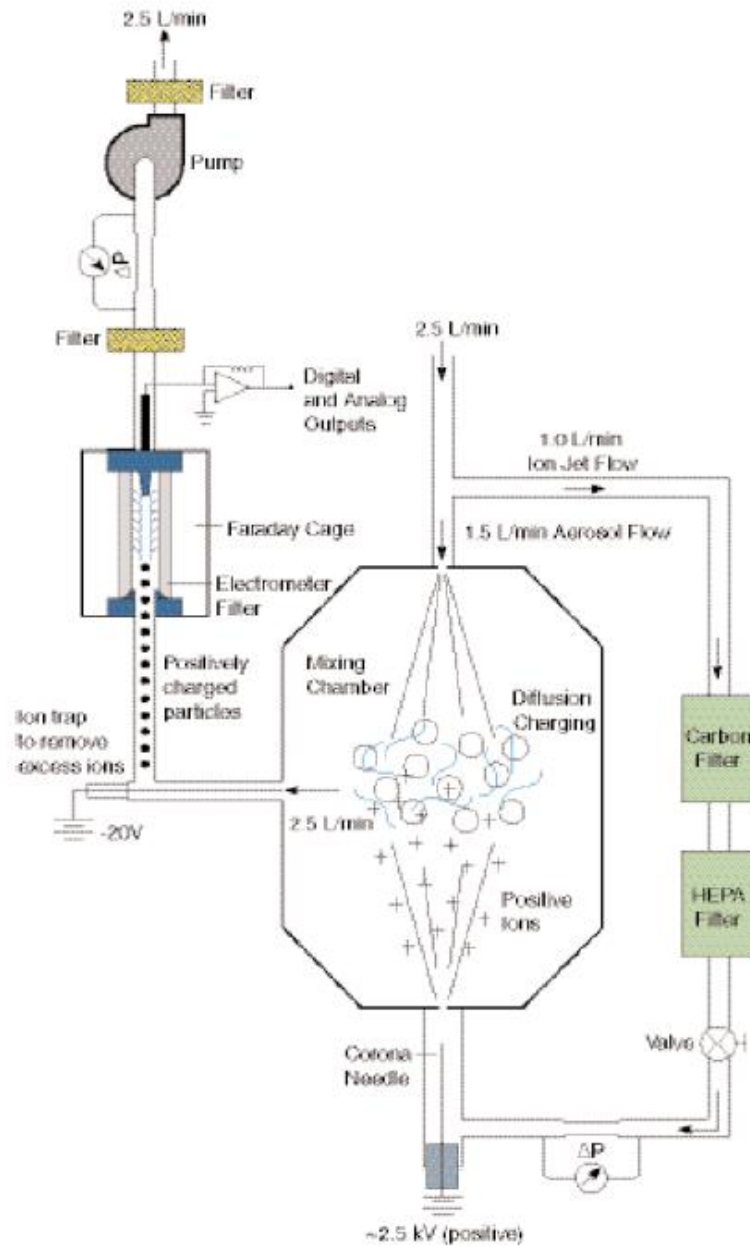


Figura 44 - Electrical Aerosol Detector (EAD)

Photo Emission Charging

Questo processo è fatto mediante l'eccitazione delle particelle di polvere con radiazioni ultraviolette. L'emissione di elettroni da queste particelle irradiate si verifica quando l'energia del fotone è superiore rispetto alla funzione di lavoro della superficie delle particelle. Il PM è quindi misurato in relazione alle emissioni di elettroni. Tuttavia, queste misurazioni possono essere influenzate dall'assorbimento dell'elettrone emesso dall'altro materiale nel flusso di scarico. Questo processo viene chiamato diffusione inversa e può far sì che la risposta del segnale sia abbassata.

Un tipo di strumento Photo Emission Charging è il PAS (Photoelectric Aerosol Sensor). Il PAS ionizza particelle contenenti idrocarburi policiclici aromatici (PAHs) con una lampada a raggi ultravioletti. Le Particelle cariche sono poi raccolte da un filtro e misurate con un elettrometro.

Beta Attenuation

Il Beta Attenuation è un metodo per misurare direttamente la *massa delle particelle* attraverso la misurazione dei raggi beta che passano attraverso un campione. I raggi beta possono quindi essere rilevati da un rivelatore di scintillazione. Nella prima fase della misurazione, lo strumento è di solito accoppiato con un ciclone o con un impactor, al fine di rimuovere le particelle più grandi. Uno azzeramento viene poi eseguito facendo una misurazione iniziale su un campione in bianco o eseguendo uno spazio vuoto al fianco della misurazione effettiva. La radiazione Beta proveniente da una fonte di carbonio-14 è diretta al nastro vuoto del filtro. Il Carbonio-14 emette un costante flusso di elettroni sul campione per un'ora. La quantità di radiazione beta che passa attraverso il filtro pulito e raggiunge il rivelatore viene registrata come il livello zero.

L'aria del campione da un flusso di gas di scarico è fatta passare attraverso il nastro pulito del filtro. Il punto del nastro è poi esposto alle radiazioni beta per un'ora e il numero di particelle che raggiungono il rivelatore viene registrato. Questo zero viene sottratto dai dati e una massa allora può essere calcolata dalla legge di Lenard.

Il principale svantaggio di questo metodo è il lungo tempo di un'ora per il rilevamento di una singola porzione di scarico.

Quartz Crystal Microbalance

I cristalli di quarzo hanno proprietà piezoelettriche. Applicando la tensione ai cristalli, questa provoca dei cambiamenti fisici. Se viene applicata una corrente alternata, sarà il cristallo ad oscillare. I depositi di particelle sul cristallo variano la frequenza di oscillazione. La modifica di massa del cristallo può quindi essere calcolata dall'equazione di Sauerbrey.

Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)

Il TEOM, figura 46, è in grado di misurazioni dirette della *massa della particella*. Il principio di funzionamento alla base del TEOM è l'accumulo di particelle su un elemento oscillante, che causa un cambiamento misurabile di frequenza.

Il cuore del sistema TEOM è un sistema cavo, conico, a sbalzo. Questo elemento conico (TE) è fatto oscillare alla sua frequenza naturale. Un filtro viene applicato all'apertura vuota del TE. Un flusso di scarico diluito viene passato attraverso il filtro e attraverso l'apertura vuota. Mentre le particelle dal flusso di gas di scarico si accumulano sul filtro, si modifica la frequenza dell'oscillazione del TE.

Le misure di massa sono realizzate con una frequenza di 5 Hz. Queste sono effettuate determinando il cambiamento dell'oscillazione dalla misurazione precedente. Un rapporto massa/oscillazione può essere fatto, e può essere fatta una misurazione continua della massa delle particelle.

Il deposito di acqua o di residui organici volatili (VOCs - *Volatile organic compounds*) sul TE può provocare false alte misure di PM. Questi composti possono anche essere rimossi dal filtro se le temperature del flusso di scarico attraverso il TE aumentano. Questo comporta misure negative del TEOM. Per questo motivo, dati continui non si possono correlare bene con reali correnti di PM. Tuttavia, se il filtro è esente da vapore acqueo e dai VOCs, alla fine della misurazione, una

misura di massa TEOMs integrata dovrebbe annullare le risposte positive e negative interferenti con lo strumento lasciando un'accurata PM totale.

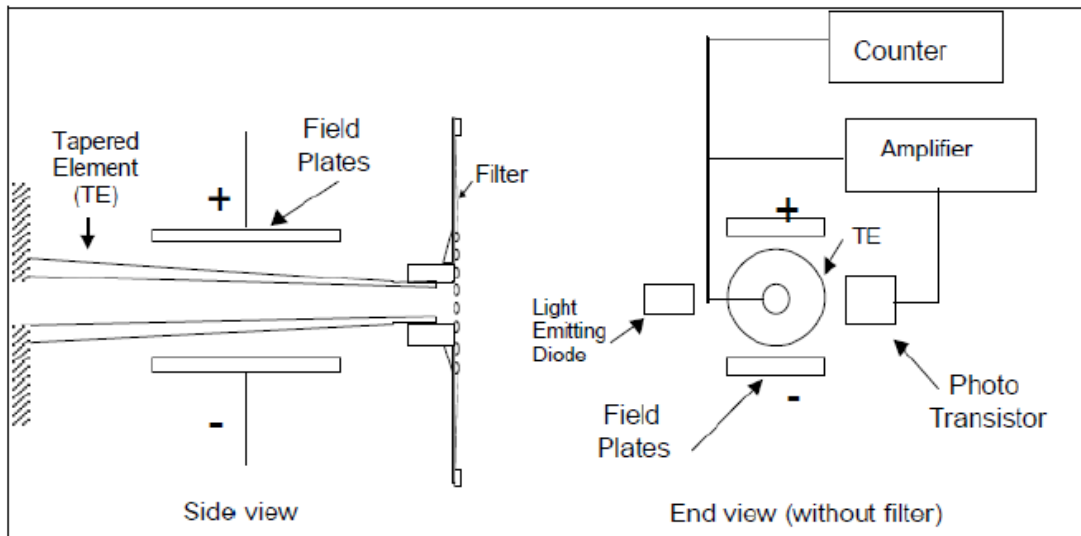


Figura 45 – Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)

Capitolo 10

Confronto fra prodotti esistenti sul mercato

Alla luce dei principi di misura visti sin qui, si fa ora un'analisi di reali strumenti prodotti da aziende specializzate del settore come AVL, Cambustion, Dekati, TSI Inc., Artium Technologies, Inc.

La tabella qui rappresentata è frutto di 3 confronti fra prodotti presenti sul mercato. Nel dettaglio vengono analizzati:

1. DMS500, Cambustion
2. ELPI, Dekati
3. CPC 3022A, TSI
4. EEPS3090, TSI
5. AVL483, AVL
6. DMM230, Dekati
7. LII-200, Artium
8. AVL439, AVL
9. SMPS, TSI

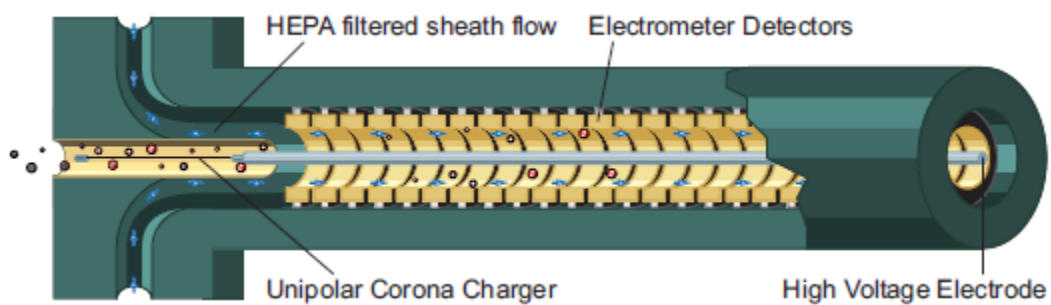
Strumento	DMS500 (Combustion)	ELPI Dekati	CPC TSL-3022A	EEPS3090	AVL483 (PASS)	DMM230 Dekati Mass Monitor	LII ArtiumLII 200	AVL439 OPACIME TER	SMPS (DMA+CP C)
Principio misura	Classificazione ne elettrostatica	Impatto inerziale, eletrometria	ottico	Mobilità elettrica delle particelle	Effetto fotoacustico	Carica delle particelle	Misura dell'incendes cenza emessa dal soot, riscaldato a 2500÷4000K da una sorgente laser	ottico	Mobilità elettrica + Ottico Classificazio ne inerziale??)
Metrica	numero particelle, concentrazion e di massa, diametro di mobilità elettrica	Concentrazio ne numerica, diametro aerodinamico	Concentrazio ne numerica (contatore di particelle)	numero particelle, concentrazion e di massa Black Carbon	numero particelle, concentrazion e di massa	numero particelle, concentrazion e di massa	(PPB & mg/m ³)	Opacità N [%] o coefficiente di assorbimento k [m ⁻¹]	Distribuzione dimensionale (impattore inerziale)
Range dimension ale [nm]	5÷1000	30÷30000 7nm - 10µm	10÷3000	5,6÷560		10÷1500	10÷100 (primary particle)	N=0÷100% k=0÷10m ⁻¹	(>1) 10÷1000 (2,5÷1000)
Tempo di risposta	0,2s	5s	1s(count) 5s(opacità)	< del DMS500 (0,2)	Elevato <1s	1Hz	0,1s 1-20HZ	0,1s	60÷600s

Note	I fattori di emissione di massa di PM chiaramente troppo bassi riporta un valore circa doppio del numero delle particelle		contatore di particelle esatto	I fattori di emissione di massa di PM chiaramente troppo bassi sottolinea il numero delle particelle di un 15%, <i>rileva solo soot[0116]</i>	possibili problemi rispetto ai futuri bassi limiti di emissione di PM	possibili problemi rispetto ai futuri bassi limiti di emissione di PM	Rileva solo la presenza di Black Carbon, non misurando quindi la massa totale di particolato	adatto all'uso con test cell, banco a rulli ed uso on board	Tende a sopravvalutare la frazione di volume di particelle di soot e il complesso di volume dei campioni aggregati di particolato. Mostra incertezze con particelle (< 20 nm)
sensibilità	Da 2µg/m ³		0-9,99 × 10 ⁰ #/cm ³	Fino 200 [#/cm ³]		5µg/m ³ ÷50mg/cm ³	2µg/m ³ ÷20g/cm ³ 0.01 mg/m ³	0.1% opacità 0.0025m ⁻¹ di assorbimento	<2 mg/m ³ ÷20 g/m ³ ; 1÷10 ³ #/cm ³ ???
Temperatura limite superiore [°C]	150	40(ambiente)	35 (ambiente)		40(ambiente)	1000	300	600	
Pressione limite superiore [mbar]	2000					2000	5000	400	
Strumento	DMS500 (Combustion)	ELPI Dekati	CPC TSI - 3022A	EEPS3090	AVL483 (PASS)	AVL483 (PASS)	LII ArtiumLII 200	AVL439 OPACIME TER	SMPS (DMA+CP C)

1. Differential Mobility Spectrometer (DMS500)

[18]

Il DMS500 è stato sviluppato e commercializzato da Cambustion. La distribuzione dimensionale di PM e la concentrazione numerica sono effettuati con un *tempo di risposta di 200ms* (con un cambiamento di concentrazione dal 10 al 90%). I dati sono acquisiti ad una *frequenza di campionamento di 10Hz*.



La distinzione nelle dimensioni è ottenuta separando le particelle in base alla loro *mobilità elettrica*.

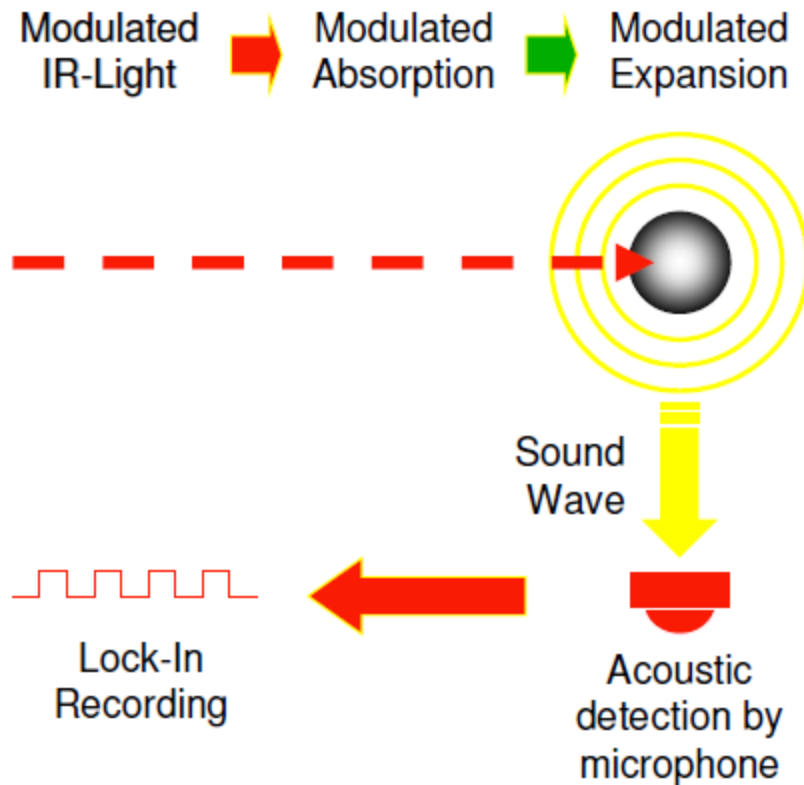
La concentrazione di **numero di PM** è determinata dall'arrivo di corrente ad una serie di elettrodi per il flusso di una carica di particelle

Ha una buona risoluzione temporale (tempo di risposta di 0.2s)

Misura particelle nel range 5nm÷1µm

2. Photo Acoustic Soot Sensor (PASS) [19]

Usa *tecniche fotoacustiche* per la misura del particolato.



Lo strumento usato è un AVL 483.

Il PASS misura la massa di black carbon irradiando il soot in un campione diluito con i vicini raggi infrarossi e rilevando la risultante onda acustica con un microfono. L'ampiezza del segnale del microfono è proporzionale alla concentrazione di massa di soot nel campione.

Ha tempo di risposta <1s, può effettuare misure nei transitori

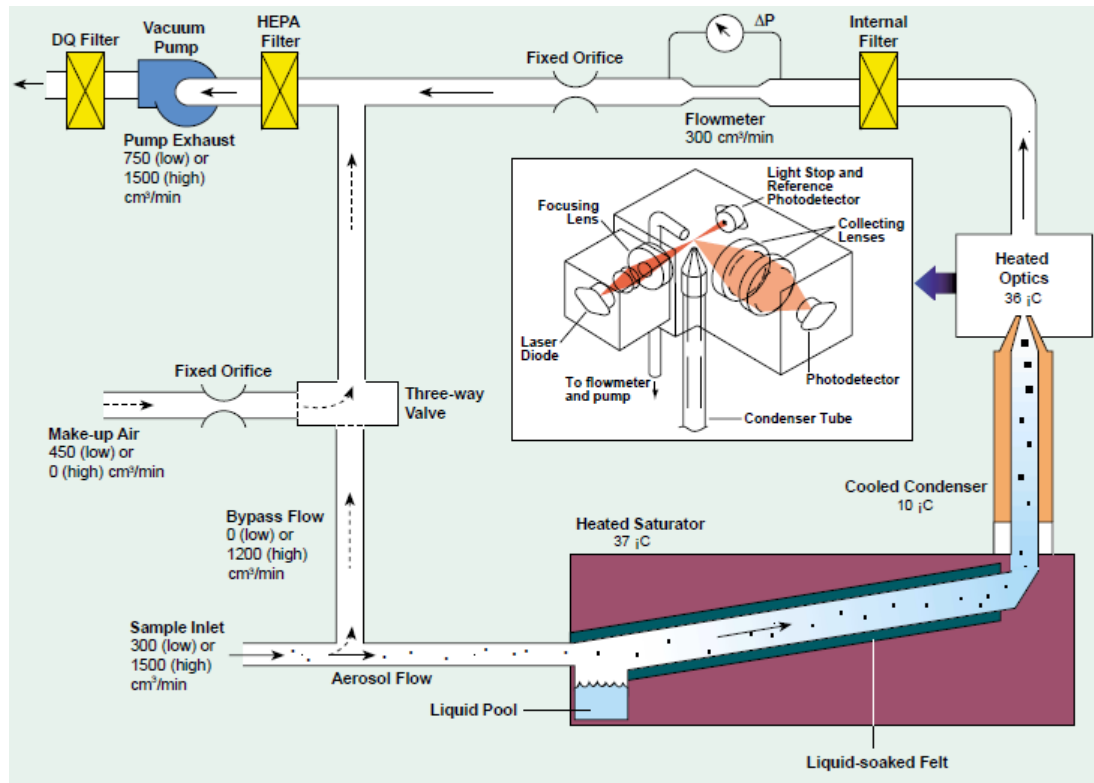
Ha elevato range di misura (1:10000)

3. Condensation Particle Counter (CPC) [20]

Si usa uno strumento prodotto da TSI Inc., il 3022A di cui vediamo un'immagine che ne riassume il principio di funzionamento.

Ha range dimensionale di $10 \div 3000 \text{nm}$

Ha un tempo di risposta di 1s

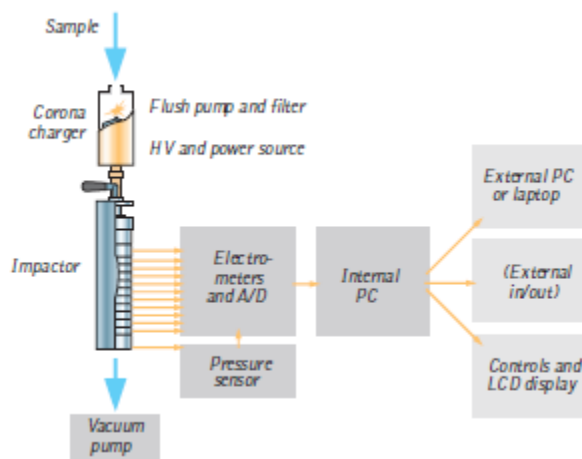


La concentrazione del numero di particelle in un campione è misurata dal *rilevamento ottico*, dopo che le particelle sono cresciute ad una dimensione sufficiente.

Il CPC conta tutte le particelle indipendentemente dalla composizione.

4. Electrical Low Pressure Impactor (ELPI) [21]

Misura la concentrazione dimensionale e quella del numero delle particelle. Le particelle di diverse dimensioni sono *classificate in base alla loro inerzia* in un dispositivo di simulazione di caduta.

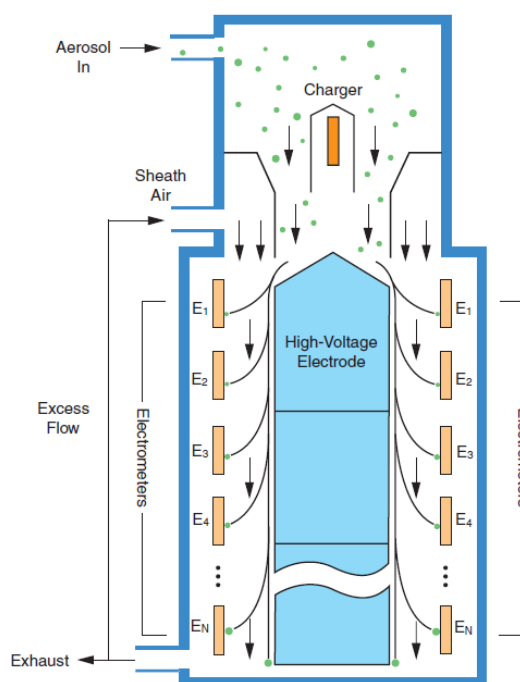


Come nel DMS500 la concentrazione del numero delle particelle è determinata dalla corrente che fluisce agli elettrometri.

Ha range dimensionale pari 30÷30000nm

Il tempo di risposta è di 5s

5. Misuratore di particelle dei gas di scarico (EEPS3090TM, TSI Inc.) [22]



Basato sulla mobilità elettrica delle particelle.

Range di misura $5.6 \div 560$ nm.

Il tempo di risoluzione è basso (<2 s).

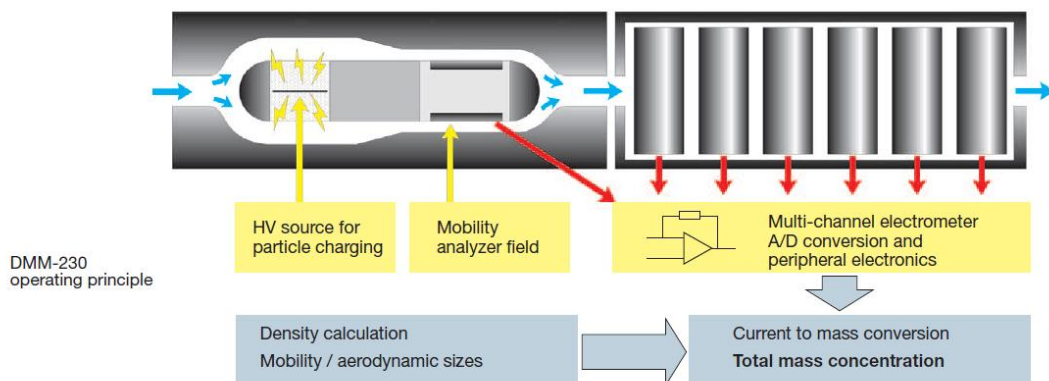
6. Dekati Mass Monitor (DMM230, Dekati Ltd.)

[23]

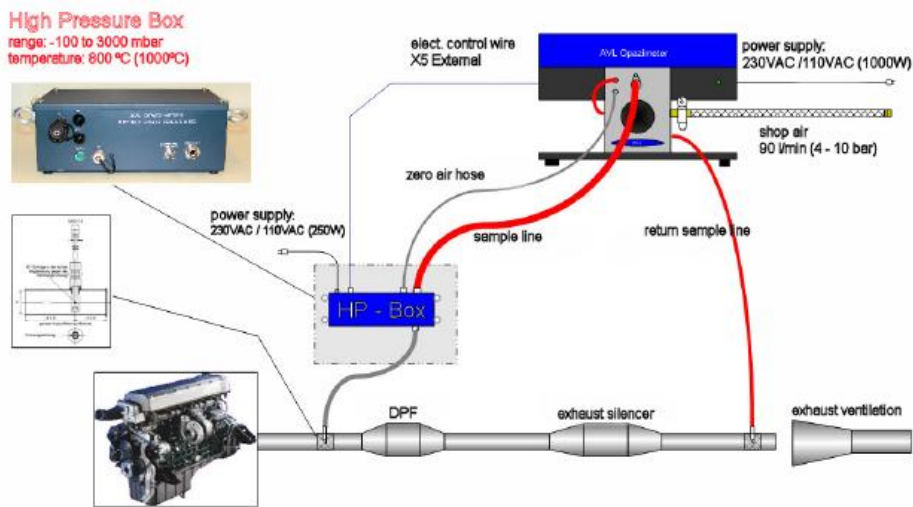
Misuratore real time che effettua una misura basata sulla carica delle particelle.

Il range coperto è di $10 \div 1500$ nm

La risoluzione è di 1Hz



7. Opacimetro (AVL 439) [24]



Misura l'attenuazione della luce nella camera di misura causata dalla presenza di particolato fornendo l'opacità $N[\%]$, oppure il coefficiente di assorbimento $k [m^{-1}]$.

Il tempo di risposta è di 0.1s

8. LII (LII-200 Artium Technologies, Inc.) [25]

E'una tecnologia real-time e non intrusiva che consente le migliori prestazioni nel controllo delle emissioni di particolato nelle emissioni di un motore Diesel. E' capace di misure real-time nie funzionamenti in transitorio del motore ed è totalmente insensibile ai liquidi ed alle particelle di materiale diverso dal carbonio.

Misura dimensioni nel range 10÷100nm.

Ha un tempo di risposta di 0.1s

9. SMPS(3934 TSI Inc.) [26]

E' uno spettrometro con elevata risoluzione, in grado di rilevare particelle da 2,5 a 1000nm

Ha risposta temporale elevata (60÷600s), non consentendo di risolvere i transitori.

Confronto delle performance di strumenti real-time per la misura di massa e numero di PM allo scarico di un veicolo DISI [27]

Si considerino i seguenti strumenti:

- a. Spettrometro a mobilità differenziale (DMS500 Cambustion)
- b. Misuratore di particelle dei gas di scarico (EEPS3090TM, TSI Inc.),
- c. Dekati Mass Monitor (DMM230, Dekati Ltd.),
- d. Micro soot sensor (AVL483 AVL Cocxrp.)

Come riferimento per la valutazione di questi strumenti real-time si sono usati i seguenti strumenti e metodi di misura:

- Misure a filtro gravimetrico, in accordo con le normative sono condotte per determinare la quantità totale di massa di particelle emessa nel ciclo di guida.

- Misuratore a scansione della mobilità delle particelle (SMPSTM 3934, TSI Inc.), che consiste in un classificatore elettrostatico. Misura la distribuzione dimensionale delle particelle in base alla loro mobilità elettrica con un range di $7 \div 300$ nm ma con un tempo di scansione lungo (300s)
- Contatore di particelle a condensazione (CPC 3010, TSI Inc.) usato per misurare la concentrazione del numero totale di particelle in un range di $10\text{nm} \div 3\mu\text{m}$

Correlazione del numero totale di particelle

Poiché EEPS3090 e DMS500 utilizzano rilevatori elettromotori per determinare la concentrazione del numero di particelle a dimensione definita, è importante la correlazione con un CPC, un contatore di particelle esatto. Si sono perciò fatti funzionare insieme il CPC, EEPS3090 ed il DMS500 in parallelo col tunnel di diluizione CVS. Si sono considerati cicli sia in stazionario sia in transitorio con diversi motori e strategie di post-trattamento, trovando una buona correlazione tra i due strumenti considerati ed il CPC.

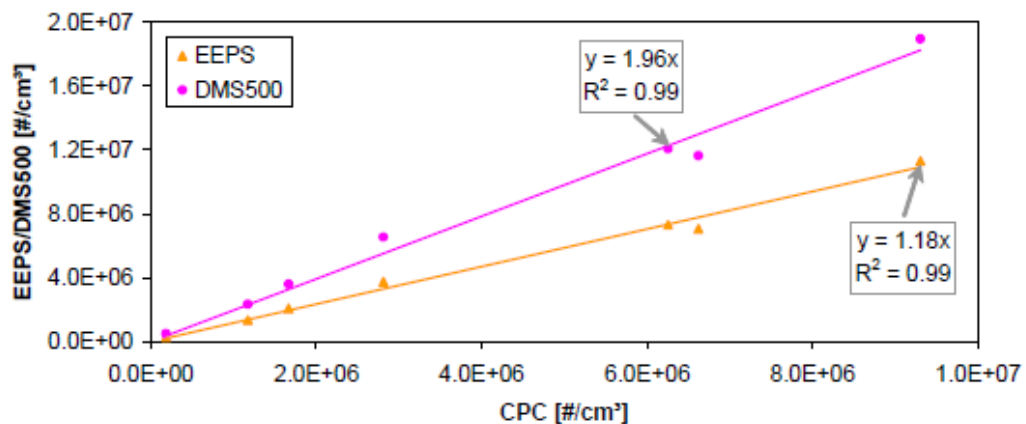
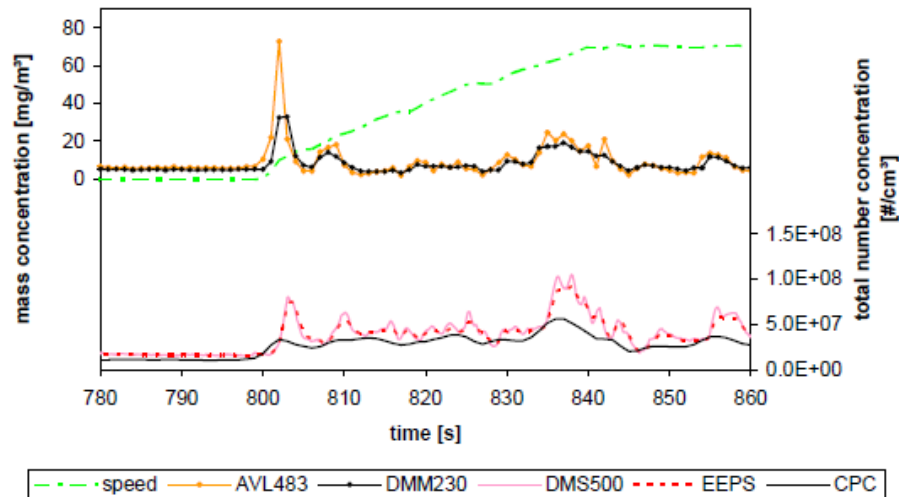


Figura 46 - Concentrazione del numero di particelle medio con EEPS3090 e DMS500 in condizioni stazionarie ed in transitorio a confronto del numero totale della concentrazione calcolato con il CPC (medie sull'intero ciclo)

Ci sono comunque deviazioni in valore assoluto tra i due strumenti ed il CPC. EEPS3090 sovrastima il numero delle particelle di un 15%, mentre il DMS500 riporta un valore circa doppio.

Confrontando la il numero di particelle misurate dagli strumenti AVL483, DMM230, DMS500, EEPS3090 e dal CPC si è trovata una buona correlazione tra di loro. Il maggior picco all'inizio dell'accelerazione registrato dall'AVL483 rispetto al DMM230, è un indice del maggior tempo di risoluzione dello strumento. I numeri di concentrazione totali misurati da DMS500 e da EEPS3090, sono molto vicini. Come si vede in figura, il DMS500 registra cambiamenti più rapidi e picchi addizionali nel grafico nel tempo della concentrazione del numero di PM rispetto all'EEPS3090. Come mostrato nella fase al minimo tra 780 ed 800s, il segnale maggiormente variabile del DMS500 non è causato dal maggior rumore, comparato all'EEPS3090. Quindi il segnale maggiormente filtrato dell'EEPS3090 comparato al segnale del DMS500 indica come l'EEPS3090 abbia un tempo di risposta un po' minore del DMS500.



Come è lecito aspettarsi, il CPC non è capace di seguire la rapida variazione della concentrazione numerica per il diverso principio operativo (tempo di risposta T_{95} pari a circa 5 secondi). Di conseguenza il suo segnale è chiaramente più filtrato.

Distribuzione della dimensione del numero di particelle nel funzionamento in stazionario

Per confrontare le distribuzioni di dimensioni delle particelle dei DMS500 ed EEPS3090 si è effettuata una misura addizionale con un generatore di aerosol di particelle CAST (Combustion Aerosol Standard). Si mostrano quindi in figura 2 le distribuzioni misurate all'uscita dei due CAST usati (con diametro medio di 20nm sopra e 80nm sotto).

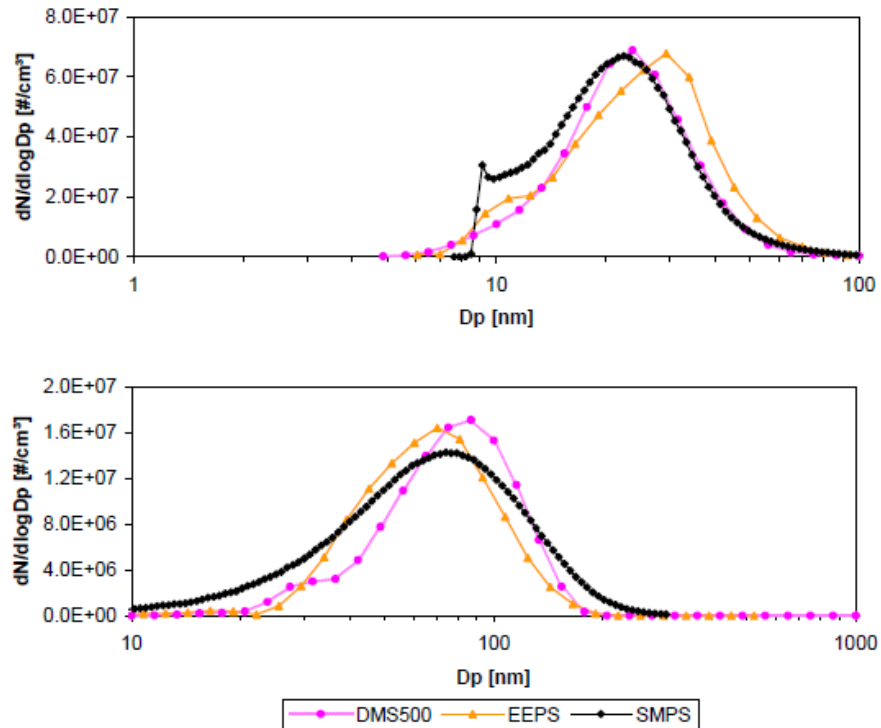


Figura 47 - Confronto della concentrazione di dimensione media generata da un CAST con un preselezionato CMD di 21nm (sopra) e 82 nm (sotto) per SMPS, EEPS3090 e DMS500

Distribuzione delle dimensioni delle particelle nel funzionamento in transitorio

Si analizza ora il funzionamento in transitorio, comparando i risultati dei DMS500 ed EEPS3090, non considerando il SMPS a causa del suo lento tempo di risposta. Le tipiche distribuzioni di dimensioni misurate dagli strumenti al tunnel CVS sono mostrate in figura 49.

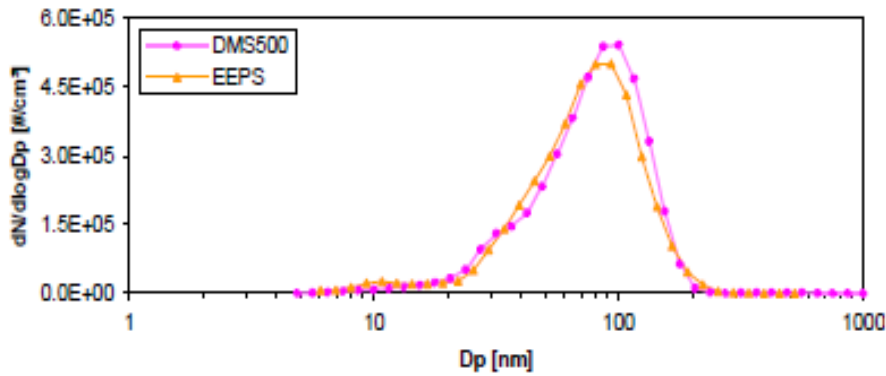


Figura 48 - Distribuzione delle dimensioni medie tipica misurata con DMS500 ed EELP3090 al CVS in un ciclo NEDC

Si sono effettuate anche misure a monte del DPF, usando per la diluizione il Dekati FPS che ha permesso il campionamento delle particelle nella modalità di nucleazione. I risultati di queste misure in regime transitorio in un ciclo NEDC sono mostrati in figura 50.

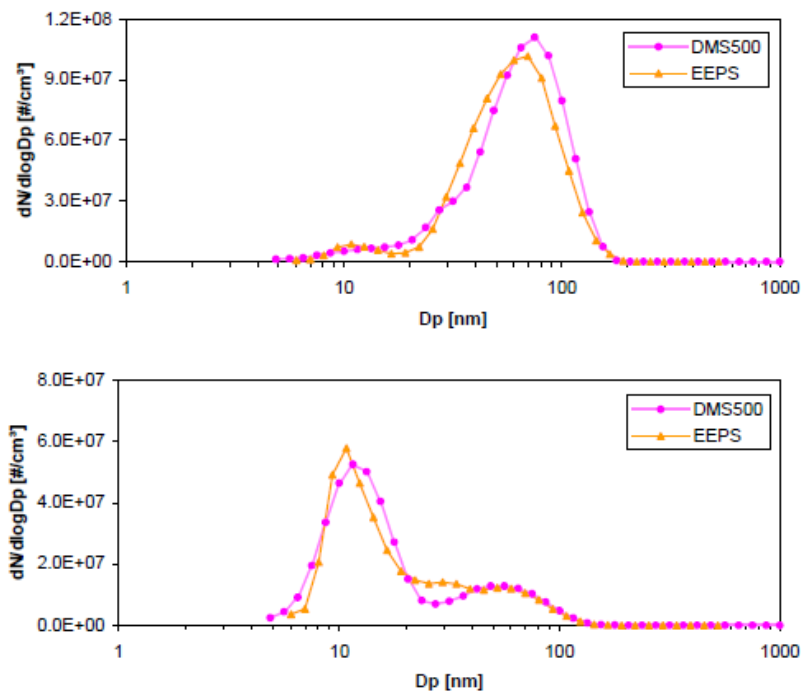


Figura 49 - Distribuzione delle dimensioni medie misurata a monte del DPF con EEPS3090 e DMS500 durante il soot (sopra) e la nucleazione (sotto) durante un ciclo NEDC

In alto si considera la modalità soot mentre in basso la nucleazione.

Tuttavia, le distribuzioni di dimensioni di questi strumenti si discostano dalla distribuzione di sistemi SMPS. EEPS3090 e DMS500 misurano le distribuzioni di dimensione più ristretta rispetto i sistemi SMPS. Questo significa che il numero di particelle all'estremità superiore e inferiore della distribuzione per dimensione potrebbe essere sottovalutato dai due spettrometri veloci di dimensione delle particelle.

Correlazione della massa di PM

Per valutare i risultati della massa degli strumenti di misurazione on-line di PM, la procedura legale per PM è stata usata come riferimento per il campionamento del filtro di massa. Per tutti i test, i cicli di guida transitori (NEDC, ciclo speciale della città o triple EUDC) sono stati utilizzati e i campioni sono stati prelevati dal tunnel di diluizione di CVS.

La differenza di massa calcolata tra il EEPS3090 e il DMS500 era circa il 2,5% per tutte le prove e così anche le classi di dimensione aggiuntive del DMS500 (nell'intervallo di dimensione superiore) senza un contributo significativo alla massa di PM.

La ragione di questo è il fatto che la maggior parte della massa dei PM nel gas di scarico diesel tipiche può essere trovata nel range di dimensioni delle particelle tra 30 e 500nm, coperte da entrambi gli strumenti.

In aggiunta, i calcoli di massa sono stati eseguiti per una densità efficace ipotetica della particella di $\rho_{\text{eff}}(D_p) = 1 \text{ g/cm}^3 = \text{costante}$, che di conseguenza rappresentano anche il volume totale delle particelle.

Nella Figura 51 i fattori di emissione calcolati sono confrontati con i valori del filtro corrispondenti per ogni strumento.

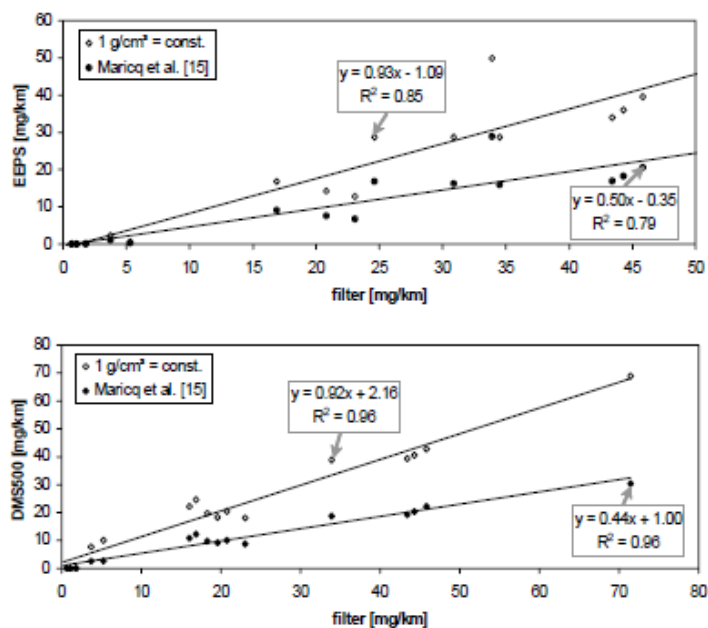


Figura 50 - Fattori di emissione di massa di PM calcolati con un DMS500 (sopra) e con un EEPS3090 (sotto) utilizzando diverse funzioni di densità in funzione dei valori del filtro

Il DMS500 mostra una buona correlazione con i dati del filtro per entrambe le funzioni di densità. Le correlazioni tra l'EEPS3090 ed i risultati del filtro sono più deboli rispetto a quelle della DMS500. I valori assoluti mostrano un ragionevole accordo solo per una funzione di densità pari a $\rho_{\text{eff}}(D_p) = 1 \text{ g/cm}^3$.

La relativamente piccola differenza nel numero di particelle più grandi conduce a un volume di particella significativamente diminuito, che a sua volta potrebbe causare la sottovalutazione della massa della particella.

Conclusioni

- I collaudati strumenti di PM in tempo reale EEPS3090, DMS500, DMM230 e AVL483 sono capaci di misurare il numero di particelle o la concentrazione di massa con elevata risoluzione temporale e sensibilità. DMS500 ed EEPS3090 inoltre forniscono le distribuzioni di dimensione delle particelle alla corrispondente risoluzione temporale.
- Le concentrazioni di numero misurate con il DMS500 erano sempre superiori ai corrispondenti valori del CPC e sono stati elevati di un fattore di circa 1,7 rispetto alla EEPS3090. Tuttavia, c'era una correlazione molto buona alla CPC e ai sistemi SMP. Ciò suggerisce che questo problema può essere facilmente corretto.
- Le distribuzioni di dimensione, misurate in dal EEPS3090 e dal DMS500 (corretti dal fattore 1,7), si trovano in ragionevole accordo con i risultati di sistemi SMPS. I sistemi SMPS misurano una più ampia distribuzione dimensionale degli spettri dimensionali dei due aerosol. Soprattutto nella gamma di particelle più grandi gli EEPS3090 e i DMS500 sembrano sottovalutare il numero di particelle.
Il DMM230 e l'AVL483 mostrano una buona correlazione con le misurazioni del filtro
- Il DMM230 e AVL483 mostrano una buona correlazione con le misure del filtro, che tuttavia mostrano un offset di circa 2mg/km nei fattori di emissioni di massa comparati al DMM230 ed al AVL483. Ciò comporta possibili problemi rispetto ai futuri bassi limiti di emissione di PM
- I fattori di emissione di massa di PM, valutati dal EEPS3090 e dal DMS500 (corretti) in tempo reale, delle distribuzioni di dimensione delle particelle, utilizzando una funzione di densità di particelle tipico del diesel (dimensione frattale 2.3), sono chiaramente troppo basse.

- Per una funzione di densità di $\rho_{\text{eff}}(D_p) = 1 \text{ g/cm}^3$, irrealistica per i soot diesel, si possono calcolare i fattori di emissione di massa ed i corrispondenti valori del filtro. Utilizzando questa funzione di densità, i risultati del DMS500 erano paragonabili a quelli della DMM230 e della AVL483
La correlazione tra l'EEPS3090 e le misurazioni e il filtro gravimetrico era più debole se confrontata alla DMS500.
- Tutti gli strumenti testati forniscono dei potenti mezzi per l'osservazione delle emissioni di PM in condizioni stazionarie e transitorie. Tuttavia, la comparabilità tra i diversi strumenti, soprattutto per quanto riguarda i valori assoluti, è ancora un problema.

Confronto fra DMS500, ELPI, CPC e PASS nella misura dinamica del particolato di un motore DISI [28]

Caratteristiche degli strumenti

Le principali features di ogni strumento sono riassunte in tabella 6:

Tabella 6

Instrument	DMS500 (Cambustion)	ELPI (Dekati)	CPC (TSI 3022A)	PASS (AVL)
Detection principle	Electrostatic particle classification	Inertial impaction & Electrometry	Optical	Photo-Acoustic
Metric	Number concentration & electrical mobility diameter	Number concentration & aerodynamic diameter	Number concentration	Black carbon mass
Size range (nm)	5-1000	30-30000	10-3000	
Time response (s)	0.2	5	1 (count mode) 5 (opacity mode)	< 1

DMS500 ed ELPI misurano la distribuzione della dimensione delle particelle. DMS500 classifica la distribuzione in 41 classi, comparate con le 6 nell'intervallo di misura di interesse per l'ELPI. L'ELPI ha 12 classi di misura, ma 6 sono state scartate perché le particelle negli intervalli di misura non sono molto frequenti nei gas di scarico dei moderni veicoli.

Il rumore dell'ELPI negli elettrometri delle particelle più grandi può portare a notevoli errori nel volume calcolato o nella distribuzione di massa.

Il limite inferiore di rilevamento delle particelle è di 5nm per il DMS500, di 30nm per l'ELPI. Ciò, insieme alla più piccola risoluzione, *permette al DMS500 di rilevare più piccoli cambiamenti e caratteristiche.*

Né il DMS500 né l'ELPI misurano la dimensione geometrica delle particelle. Il primo riporta il diametro di mobilità elettrica equivalente, mentre il secondo il diametro aerodinamico equivalente.

Comunque, l'accuratezza dipende dalla risoluzione dimensionale che è definita da soli 6 punti nel caso dell'ELPI mentre è di 41 nel caso del DMS500. Inoltre, l'ELPI non permette la classificazione di particelle con un diametro aerodinamico equivalente minore di 30nm.

Il calcolo della massa dei PM con il DMS500 e con l'ELPI richiede precise assunzioni sulla morfologia e sulla densità delle particelle, caratteristiche che cambiano al variare della dimensione delle particelle. Il PASS si basa su una funzione di calibrazione per convertire un segnale in massa di PM.

Numero di pm nel transitorio e misure di distribuzione sperimentale

L'output dal DMS500 e dall'ELPI è una matrice di correnti elettrometriche. Un software del produttore fornisce la matrice della concentrazione del numero delle particelle normalizzata.

La misura del numero e della distribuzione dimensionale delle particelle sono mostrate nelle figure 52 per il DMS500 e 53 per l'ELPI.

In esse si può vedere la variazione della concentrazione del numero e della distribuzione di dimensione nel tempo. Il colore di ogni pixel nelle immagini corrisponde ad una concentrazione di numero di PM per una certa dimensione di particelle e ad un determinato tempo durante il NEDC. Il nero corrisponde ad un numero di concentrazione di 10^4 particelle/cm³, il bianco a 10^8 particelle/cm³. Queste corrispondono alla

concentrazione di PM di background ed al valore massimo misurato. La linea grigia sovrainpressa indica la velocità del veicolo durante il NEDC.

La figura 52 mostra l'output del DMS500 per un veicolo DISI nel ciclo di guida. La linea grigia indica la velocità del veicolo nel ciclo NEDC.

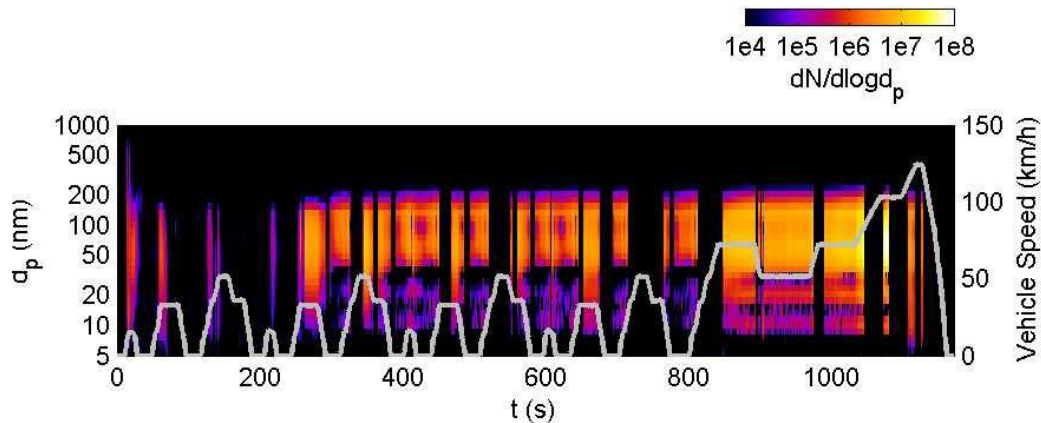


Figura 51 - Spettri delle dimensioni dei PM per un veicolo DISI sul ciclo NED, misurati dal DMS500

La figura 53, che si riferisce all'ELPI, usa gli stessi colori della figura 52, che si riferisce al DMS500, ma ha dei differenti valori di ordinate. Il limite inferiore di rilevamento per l'ELPI è 30nm, quello superiore di 411nm. La misura della particella effettuata dall'ELPI è una misura di diametro aerodinamico equivalente, quella del DMS500 una dimensione di mobilità elettrica equivalente.

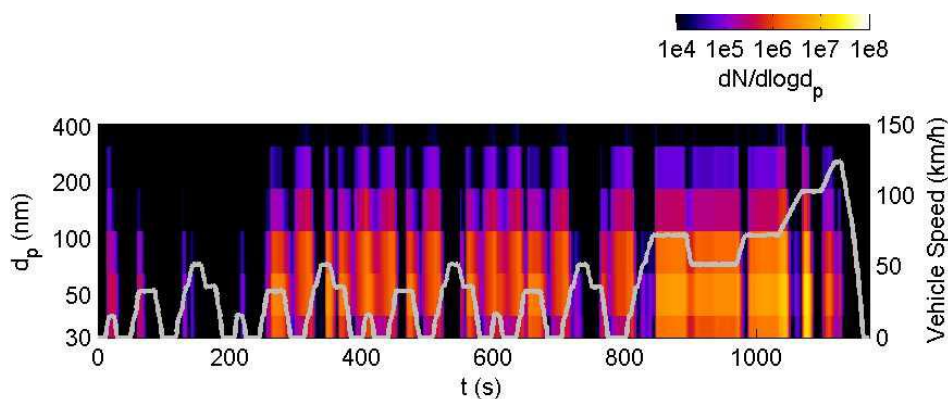


Figura 52 - Spettri della dimensioni dei PM in un veicolo DISI ciclo DISI misurati dall'ELPI

Il tempo di risposta dell' ELPI ha l'effetto di offuscare la preparazione della miscela di transizione da omogeneo a stratificato.

Per esempio il DMS50, con una distribuzione suddivisa in 41 dimensioni, mostra un allargamento della distribuzione delle particelle nella fase suburbana che non può essere determinato con l'ELPI.

Misurazione del numero di pm nei transitori

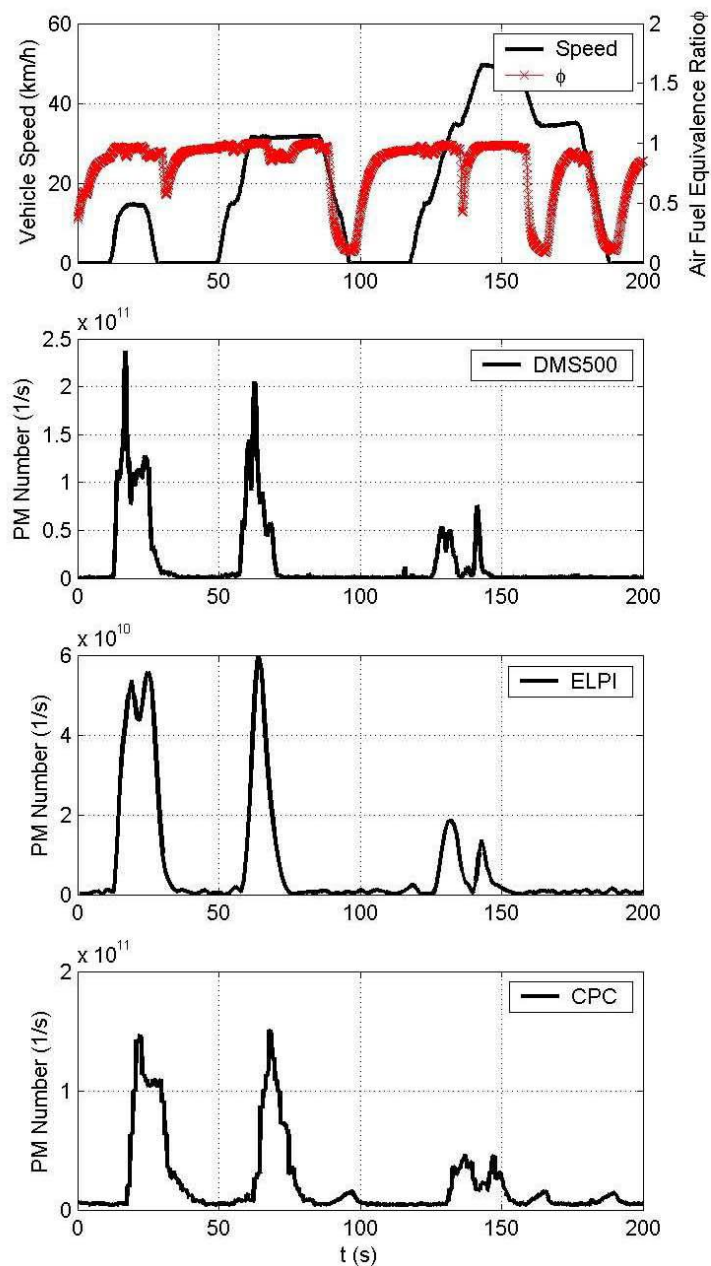


Figura 53 – Misure del numero di PM nei primi 200 s del ciclo NEDC da DMS500, ELPI e CPC

La figura 8 mostra la risposta dei vari strumenti per i primi 200 s del NEDC. Vi è un ragionevole accordo qualitativo tra i tre strumenti. In modalità omogenea, c'è presente una modalità di nucleazione che manca al ELPI. Le risultati del DMS500 sono di circa un fattore di uno a uno e mezzo superiore del CPC e circa un fattore due superiore al ELPI. Si può vedere anche nella risposta temporale, l'effetto regolare dell'ELPI, e in qualche misura del CPC.

Un picco di PM alla conclusione della prima accelerazione ($t = 15$ s) è visto dalla DMS500 ma non dal ELPI e solo parzialmente da CPC. La più bassa misurazione da CPC rispetto alla DMS500 può essere attribuita alla sua risposta più lenta di tempo, piuttosto che al sotto-campionamento.

Le più alte concentrazioni di picco del numero di PM segnalate da DMS500 rispetto al CPC ed ELPI possono essere attribuite alla sua più breve risposta di tempo e di risoluzione temporale. È anche possibile che sia un effetto dell'algoritmo di correzione della carica. Il segnale ELPI è molto più regolare, perché la risposta impulsiva dello strumento di 5 s ha l'effetto di livellare i componenti ad alta frequenza nel segnale, cioè la ELPI ha l'effetto di filtro passa-basso dei dati.

La figura 55 mostra che la strategia di preparazione della carica cambia da omogenea a stratificata a $t=260$ s, come indicato dal repentino cambio di ϕ da ~ 1.0 a ~ 0.4 . Si ha poi un ritorno ad omogenea nelle accelerazioni, quando il carico richiesto è troppo elevato per operare in stratificato. Facendo il paragone con la carica omogenea (figura 55 vs. 54), il numero di PM aumenta di un ordine di grandezza.

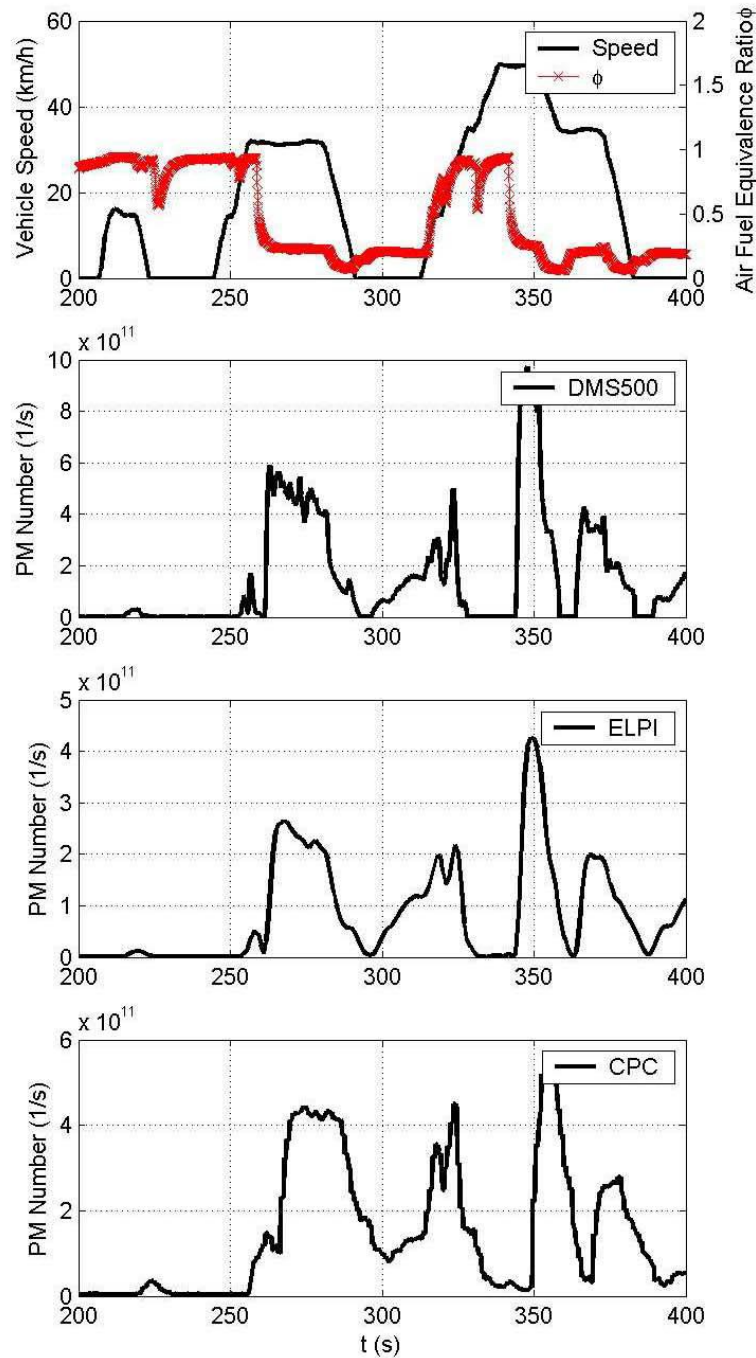


Figura 54 - Numero di PM misurati da DMS500, ELPI e CPC nell'intervallo 200-400s del NEDC

Quando la preparazione della miscela si stratifica, gli strumenti mostrano un accordo migliore, perché la modalità di accumulo di PM prodotta dalla combustione del regolatore di diffusione ha una distribuzione dimensionale che giace interamente entro il limite di rilevazione per tutti e tre gli strumenti. Inoltre serve anche come sito di condensazione per particelle volatili, queste non dominano più la

distribuzione di dimensione, e così la differenza tra la DMS500, CPC e il ELPI è ridotta.

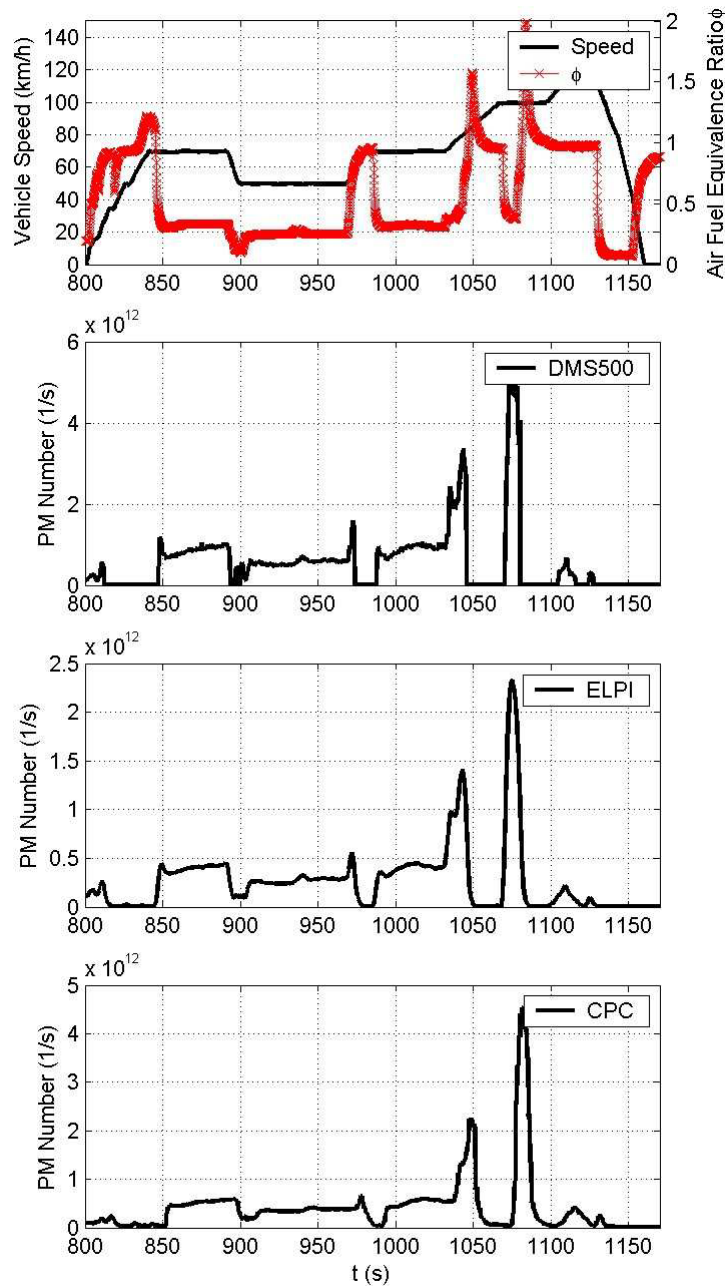


Figura 55 - Numero di PM misurato da DMS500, ELPI e CPC per gli ultimi 400s del NEDC

Nella figura 56, la misura di ELPI è molto simile a quella fatta da CPC, mentre il fattore tra il CPC e DMS500 è simile alla prima parte del test. Ne consegue che le correlazioni di numero di particelle tra DMS500, CPC ed ELPI sono più vicine durante l'operazione di carica stratificata rispetto che durante il funzionamento omogeneo.

Correlazione tra gli strumenti nei transitori

Per una valutazione delle correlazione tra gli strumenti si sono tracciati i loro segnali a confronto nella Figura 57. Per non considerare i diversi tempi di risposta, tutti i segnali sono stati filtrati con un filtro di tipo passa-basso.

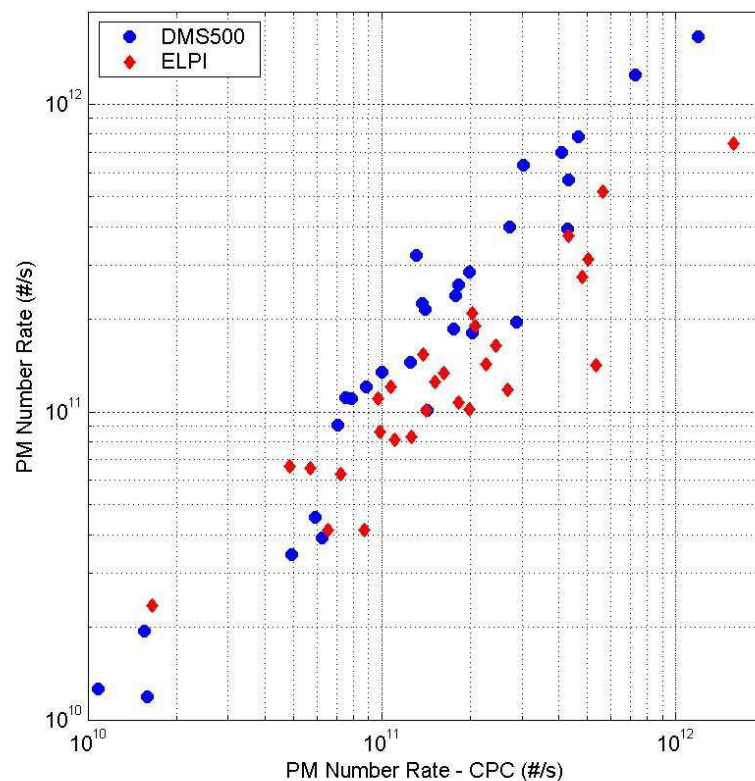


Figura 56 - Confronto in transitorio per DMS500 ed ELPI con CPC

Sia il DMS500 e il ELPI mostrano un ragionevole accordo con il CPC e anche l'uno con l'altro. I risultati del DMS500 si mostrano superiori al CPC di un fattore di 1,47 per questi motivi: 1) Il CPC era principalmente nelle modalità di opacità e così la precisione era dipendente dalla calibrazione, 2) la lettura bassa nel CPC, a causa della dimensione, dipende dal conto dell'efficienza nella modalità di nucleazione, 3) le particelle reali possono contenere più carica che le sfere utilizzate per la taratura del DMS500, causando quindi un PM più alto in numero di concentrazione da segnalare. Tuttavia, i dati DMS500 e CPC sono ben correlati.

CPC ed ELPI sono anche ragionevolmente d'accordo: i numeri assoluti di PM misurati sono circa la metà di quelli misurati dal CPC (pendenza CPC-ELPI di 0,49) che è indicativo che una frazione del PM emessa è inferiore alla dimensione (30 nm) che può misurare la ELPI. Inoltre le Statistiche di regressione sono state calcolate anche per il DMS500 e il ELPI. Anche se sono stati contati solo i dati di DMS500 nell'intervallo di misurazione di dimensioni del'ELPI, la pendenza DMS500-ELPI era di 1,97 con un r^2 di 0,99.

Le misurazioni della massa di pm nei transitori

La procedura per il calcolo della stima totale di un'emissione di massa di PM dal DMS500 e dall'ELPI è simile a quella descritta in precedenza per calcolo della concentrazione del numero di particelle. Come con il CPC e l'ELPI nel caso di numero di PM, i segnali ELPI e PASS erano allineati con il segnale di DMS500 tramite una procedura di correlazione incrociata. Il risultato è sensibile alla calibrazione perché il DMS500 e presumibilmente l'ELPI, sono calibrati con sfere di polistirolo-lattice. I piccoli errori risultati nelle dimensioni diventano errori più significativi in un calcolo di massa

Le caratteristiche nei diagrammi del tasso nella massa di PM sono simili a quelle descritte nella discussione sulle misure transitorie del numero di PM. Per questo motivo la seguente discussione si concentra sulle differenze nel segnale di massa di PM dal DMS500, dall'ELPI e dal PASS. La Figura 58, la figura 60 e la figura 61 mostrano questi segnali per il veicolo DISI sul NEDC. Di particolare nota è il doppio picco nel segnale che il PASS e il DMS500 hanno prodotto sulla prima accelerazione che è perso dalla ELPI

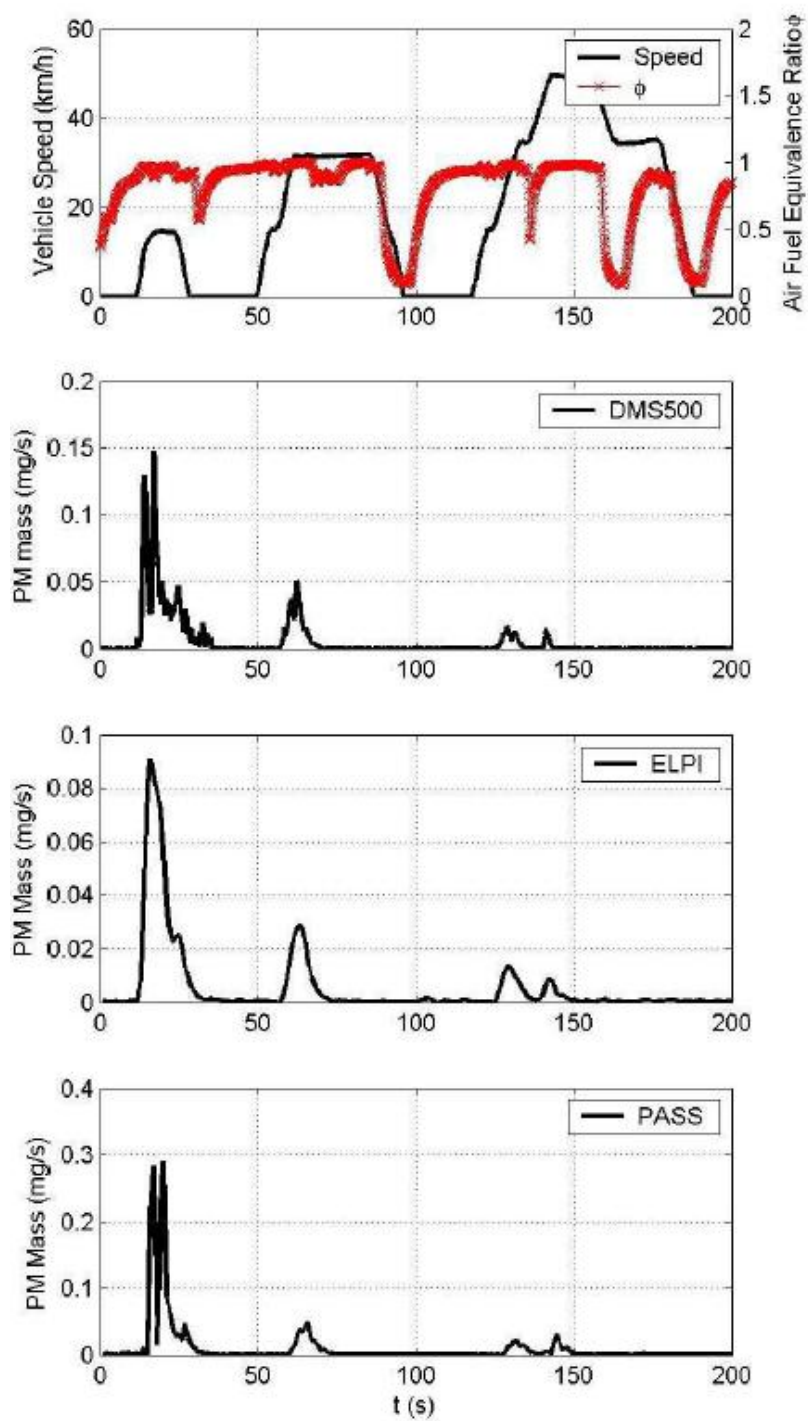


Figura 57 – Misure di massa di PM nei primi 200 s del NEDC da DMS500, ELPI e PASS

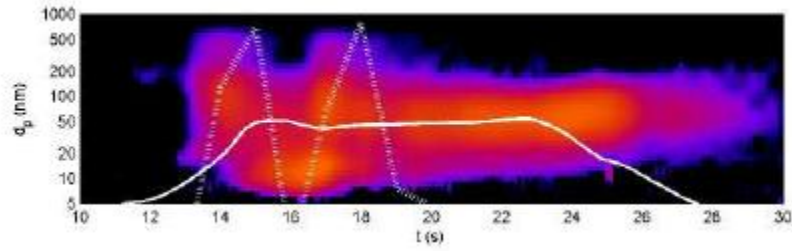


Figura 58 – Spettro delle dimensioni di PM nella prima accelerazione del ciclo NEDC da DMS500. Anche la misura del PASS è visualizzata. Durante il cambiamento della marcia, il DMS500 fornisce informazioni supplementari agli altri strumenti.

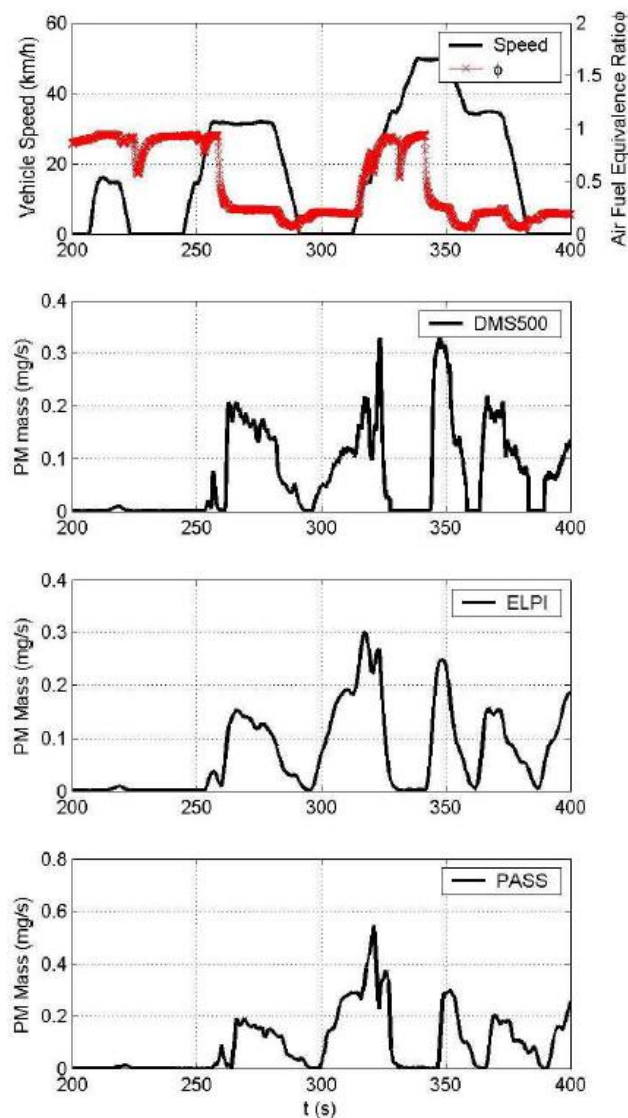


Figura 59 – Misure di massa di PM nell'intervallo 200-400 s da DMS500, ELPI e CPC

Con riferimento alla figura 61, può essere visto che la ELPI mostra migliore accordo con gli altri strumenti per la parte del ciclo che è dominato dal funzionamento in modalità stratificato. La figura 62 mostra l'accordo tra PASS, DMS500 ed ELPI per le misurazioni del tasso di massa di PM.

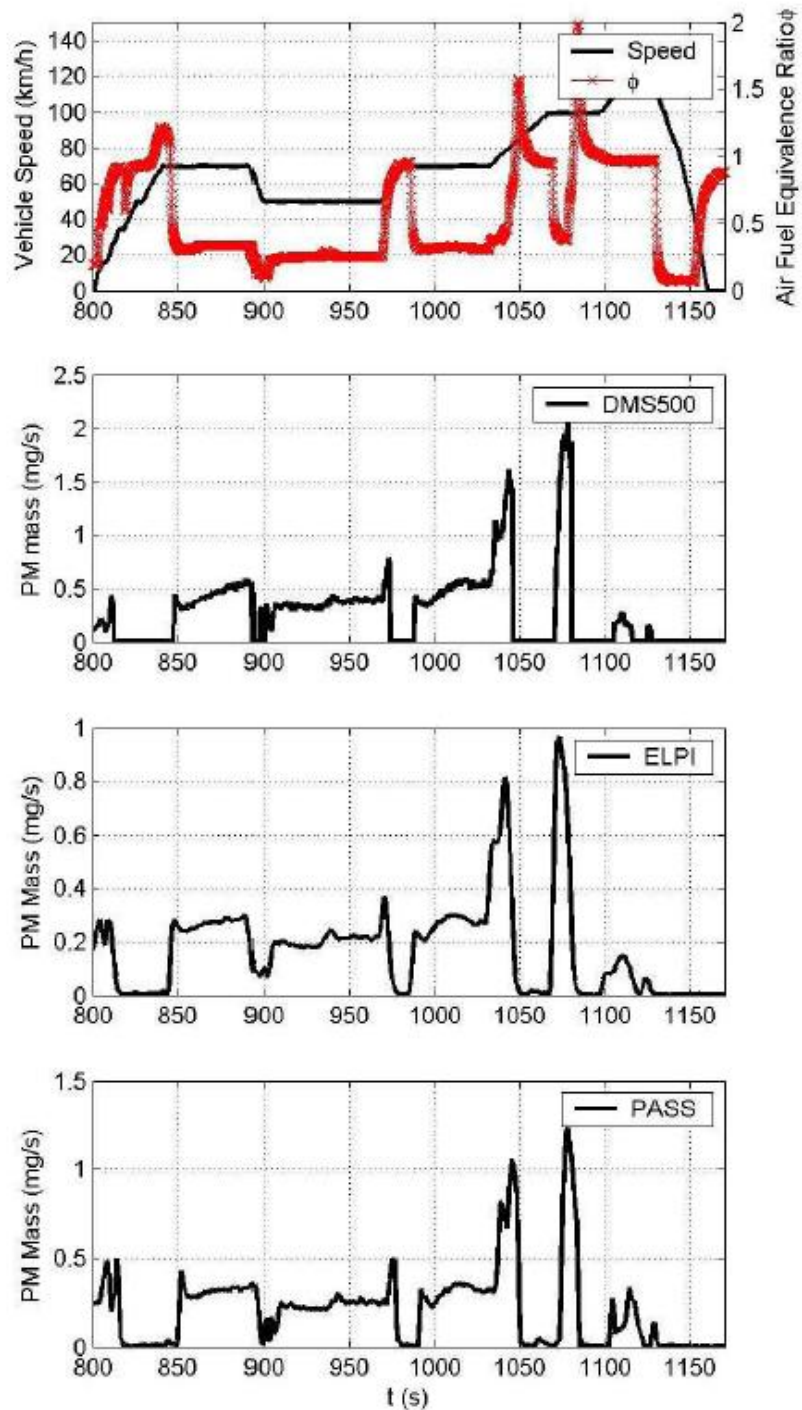


Figura 60 – Misure di massa di PM calcolate negli ultimi 800 s del NEDC da DMS500, ELPI e PASS

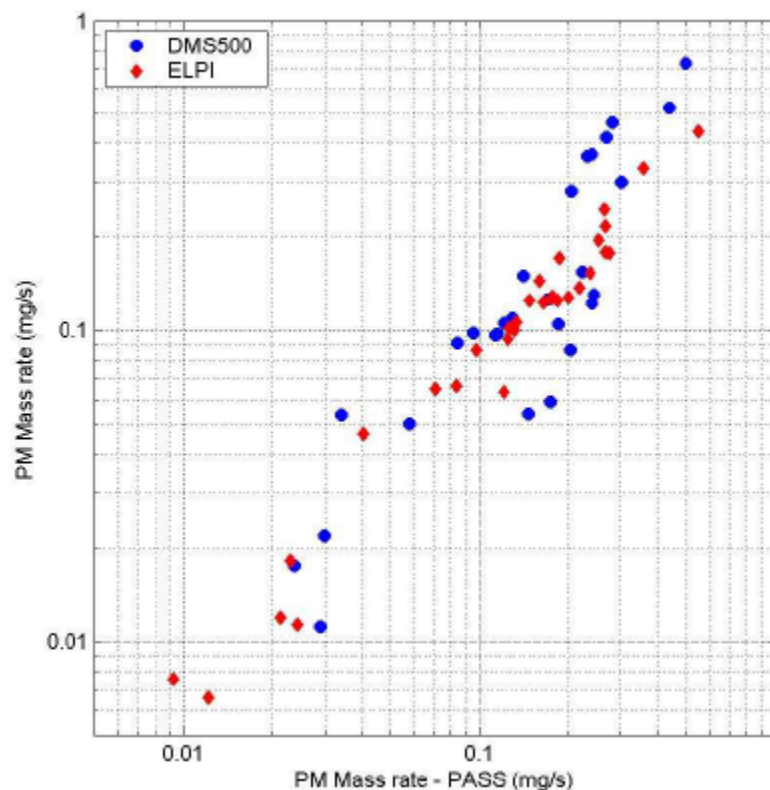


Figura 61 – Confronto in transitorio fra DMS500, ELPI e PASS

Come mostrato in figura 62, si ha buona concordanza fra PASS, DMS500 ed ELPI per misure della massa di PM. La correlazione è lineare nel range di misura e si ha correlazione tra gli strumenti. I dati DMS500 e PASS sono correlati con un r^2 di 0,8, La correlazione DMS500 e PASS è come una fascia, il PASS e l' ELPI mostrano un buon accordo con una pendenza di 0,79 e r^2 di 0,95. È anche indicativo che il PASS e l' ELPI sono sensibili approssimativamente alla stessa parte del PM totale (ad esempio, la frazione di black carbon misurata dal PASS è la stessa frazione classificata dall'ELPI).

Si nota inoltre come la correlazione fra massa di PM è maggiore di quanto lo sia quella fra numero di particelle. Si pensa che il motivo di questo sia il fatto che la massa è principalmente dovuta al particolato emesso nel funzionamento in stratificato e che questo PM abbia più costanti forma e composizione, e dimensione che rientri nel range di misura di tutti gli strumenti. La correlazione del numero di PM non è così alta perché dipende da un sostanziale numero di particelle più piccole del limite inferiore di misura dell'ELPI ed un piccolo numero di particelle inferiori al limite di misura del CPC.

Misurazioni in transitorio e totali

Per le prove in stazionario, le misurazioni DMS500 ed ELPI erano tempo-mediate e presentate come una distribuzione dimensionale di PM. Vedere per esempio la figura 63.

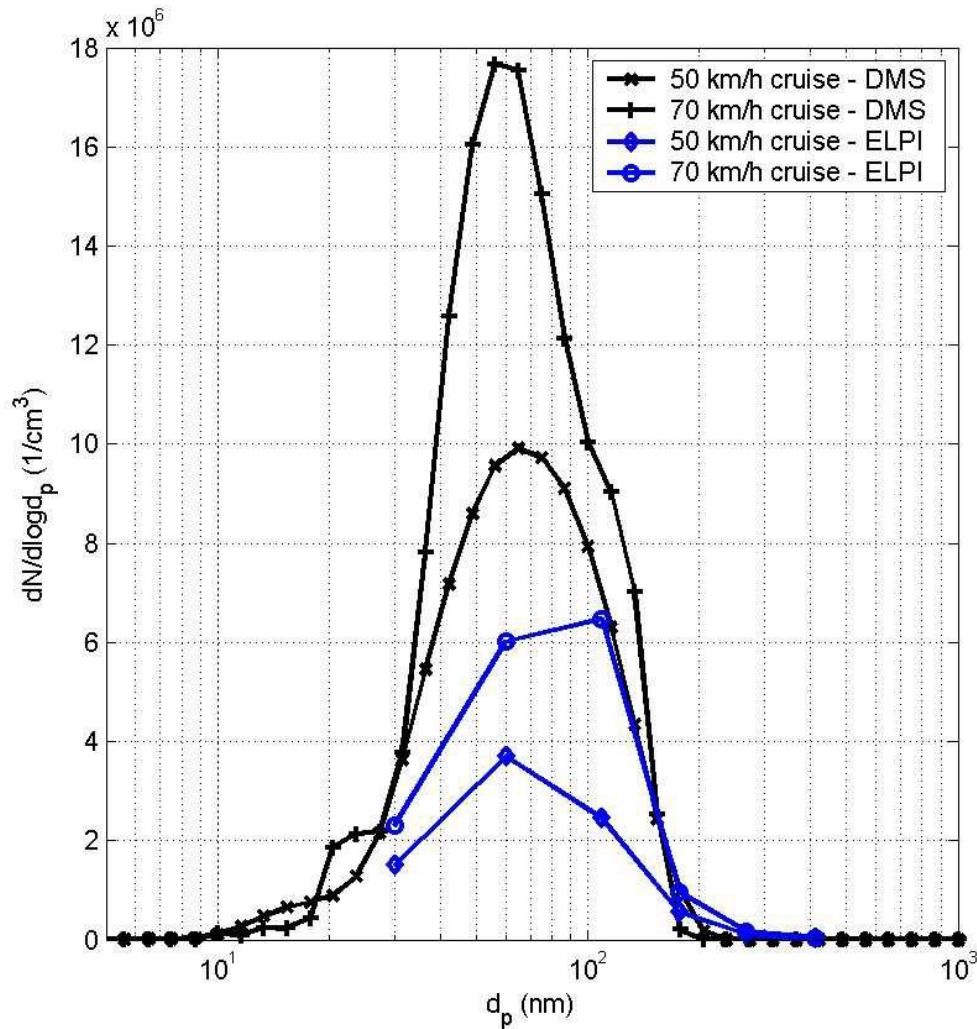


Figura 62 - Distribuzione dimensionale delle particelle funzione della concentrazione del numero di particelle. Misure del DMS500 e dell' ELPI a 50 e 70 km/h

Il DMS500 misura un fattore di due - tre di più per la concentrazione di punta.

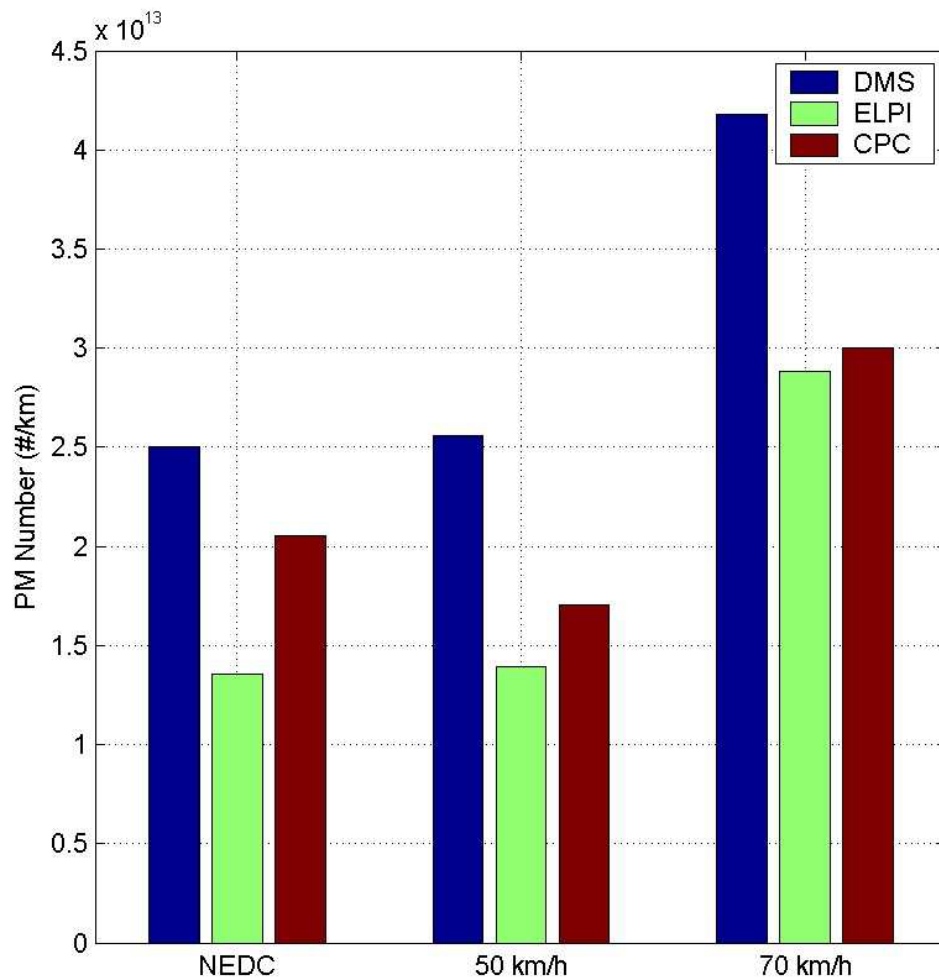


Figura 63 - Numero di emissioni di PM per km durante il ciclo NEDC misurato dal DMS500, CPC ed ELPI

Assumendo la media del numero di PM emessa per chilometro, sopra le tre misure, la DMS500 riporta un fattore di 1,37 superiore alla CPC. Il risultato ELPI era un fattore di 0.84 del CPCs. Il DMS500, ELPI e PASS misurano gli intervalli di dimensioni diverse all'interno del totale che ha emesso il PM e il PASS misura solo la frazione di carbonio nero.

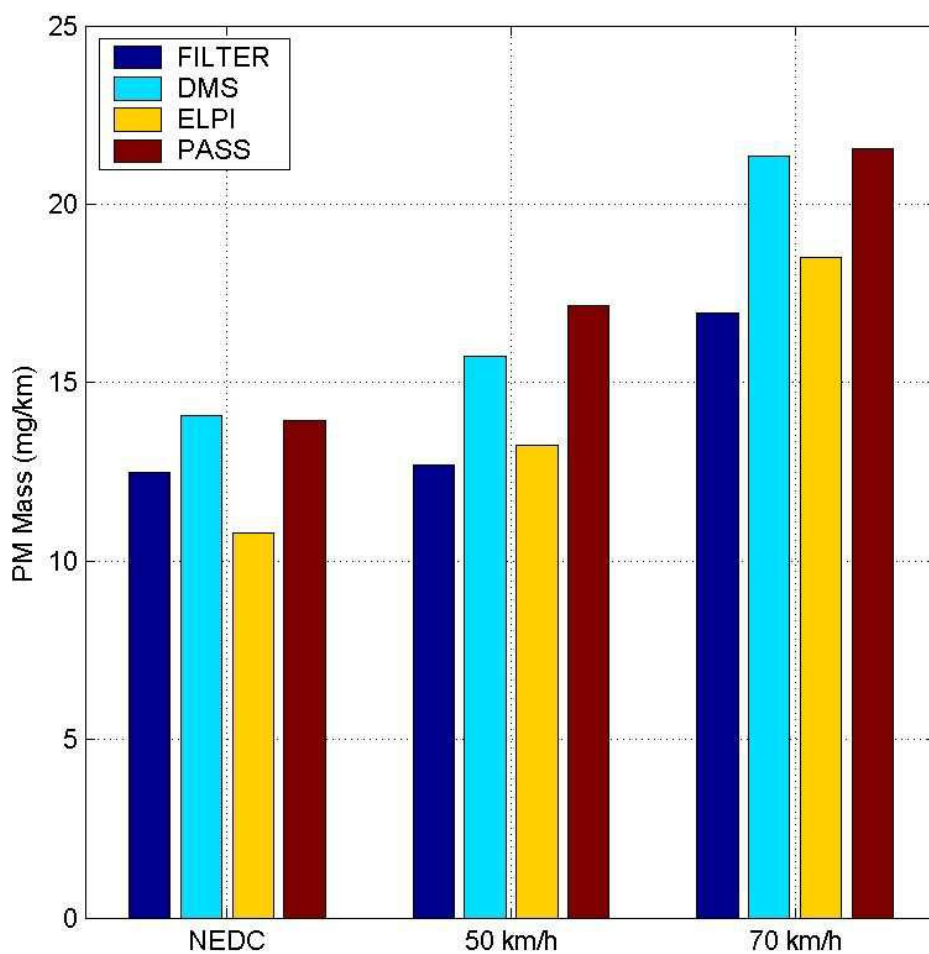


Figura 64 - Numero di PM emessi per km nel NEDC misurati dal filtro, DMS500, ELPI e PASS

I risultati di tutti gli strumenti possono essere confrontati come nella figura 65, dove si considera anche la misura gravimetrica. La media, delle masse di PM emesse, misurata con il DMS500 è circa la stessa del PASS e ha un fattore di 1,2 superiore al ELPI e al filtro. In tutti i casi i risultati della ELPI erano bassi.

Conclusioni

1. Lo spettro di dimensioni nei transitori mostrati dal DMS500 e dal ELPI mostrano un accordo ragionevole. La risoluzione dimensionale del DMS500 permette di distinguere minori variazioni nella distribuzione dimensionale
2. Il PASS ha anche dimostrato di essere in grado di distinguere i picchi di breve arco temporale che mancavano nell'ELPI e in qualche misura nel CPC. La correlazione degli strumenti è inferiore a quella riscontrata nei motori diesel, perché in un motore DISI i PM totale avevano una dimensione inferiore al limite di rilevazione per ELPI e CPC.
3. Sul numero di PM, la correlazione tra CPC, DMS500 ed ELPI ha dimostrato di essere lineare su due ordini di grandezza. I valori di r^2 erano tra 0,85 e 0,99. In termini di numero per chilometro, DMS500 ed ELPI hanno misurato un fattore di 1.37 e 0.84 volte quella del CPC rispettivamente.
4. Sulla massa di PM, il DMS500, ELPI e PASS sono correlati linearmente, ancora una volta su due ordini di grandezza. I valori di r^2 per le correlazioni di massa di PM erano tra 0,8 e 0,95. In termini di massa per chilometro, l'ELPI e il filtro erano gli stessi, e il DMS e PASS han misurato un fattore di 1,2 superiore.

La misurazione delle emissioni di pm nei transitori in un motore diesel [29]

Si confrontano ora alcuni strumenti commercialmente disponibili concentrando l'attenzione sulla sensibilità e sulla risposta dinamica da una vettura Diesel Euro5. Tali strumenti di misura sono stati collocati in punti diversi lungo il condotto di scarico, a monte della turbina, a valle della turbina, e nel tubo di scarico.

L'analisi evidenzia vantaggi e svantaggi delle tecniche di misura nelle vicinanze dell'evento di combustione nei transitori, durante cicli di test standardizzati.

La maggior attenzione è posta alla sensibilità ed alle dinamiche durante i picchi di emissione in transitorio, dato che queste producono la maggior parte delle emissioni totali nei cicli di test dei motori Diesel.

Tabella 7 - Specifiche dei diversi dispositivi commerciali per la misura del soot

Device	Sensitivity from ÷ to	Time	Temperature upper limit	Pressure upper limit
Artium Technologies LII-200 [27]	~2 µg/m ³ ÷ ~20g/m ³	response time 100ms	300°C	5000 mbar
AVL Micro soot sensor 483 [24]	~5 µg/m ³ ÷ ~50mg/m ³	rise time 1000ms	1000°C	2000 mbar
AVL Opacimeter 439 [26]	0.1 % Opacity 0.0025 m ⁻¹ Absorption	rise time 100ms	600°C	400 mbar
Cambustion model DMS 500 [25]	From ~2 µg/m ³	response time 200ms	150°C	2000 mbar

I dispositivi di misurazione sono stati disposti in 3 diverse posizioni nella parte di scarico, come è illustrato nella figura 1.

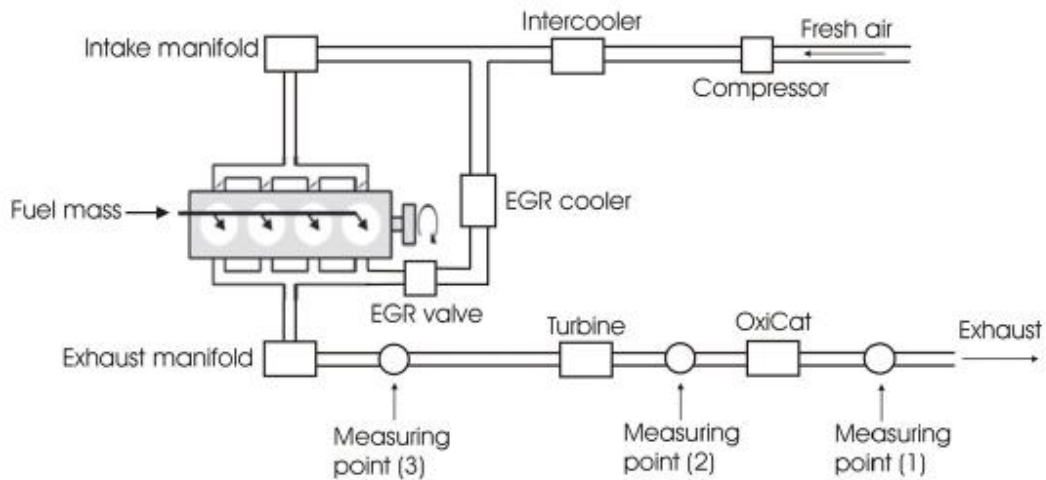


Figura 65 - Punti di misura delle emissioni. (1) allo scarico (2) a valle della turbina (3) a monte della turbina

Il sensore della micro polvere (polveri sottili) e l'opacimetro sono stati collegati via dSpace, l'unità di elaborazione (il processore) DS1006, e la scheda DS2202 HIL I/O Board.

Il Tempo di campionamento è stato impostato sui 4ms. L'acquisizione dei dati del dispositivo LII è stata registrata tramite il computer di configurazione LII, a causa della mancanza di una connessione di uscita in dSpace, con un tempo di campionamento di 50ms.

I risultati

I risultati dalla 1° posizione – tubo di scarico

La Figura 2 mostra il segnale registrato durante i primi 300s, della concentrazione della polvere, misurato dalla micro soot sensor, (linea tratteggiata in blu), dallo spettrometro differenziale veloce di mobilità (linea verde trattino-punto), dall'opacimetro (linea tratteggiata rossa), e dal LII (ciano linea continua).

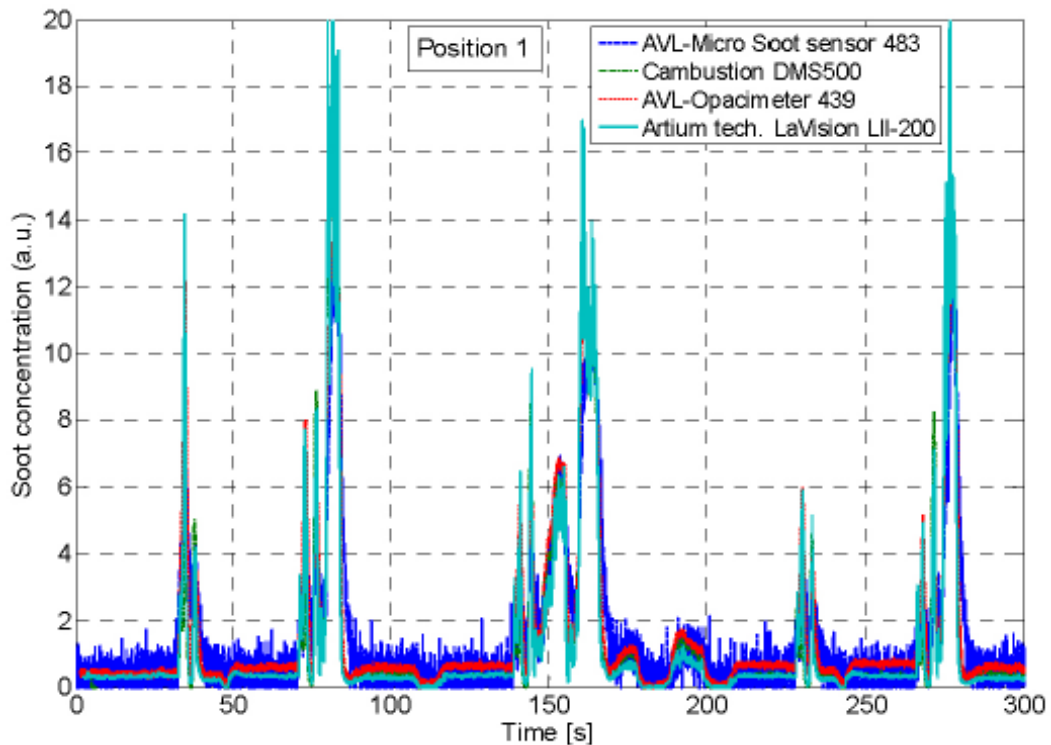


Figura 66 - Parte del test in transitorio, 300s del ciclo NEDC. Strumenti collocati in posizione 1 - allo scarico

Il ritardo di tempo generato, è dovuto alla posizione dei rilevatori collegati dalla linea riscaldata (heated) del campione.

Lo spettrometro differenziale di mobilità e il LII misurano il livello di concentrazione della polvere, mentre l'opacimetro misura l'opacità della polvere. La concentrazione di soot e la risposta dell'opacimetro sono qui mostrate in unità di misura arbitrarie (a.u. in figura) per un miglior confronto delle misure dei quattro strumenti.

Dalla misurazione di emissione di transitori, in figura 67, tutti gli strumenti mostrano una risposta molto simile per quanto riguarda la concentrazione di polvere. Tutti i segnali sono continui, senza un profilo di cut-off. Tuttavia, guardando di più nel dettaglio, le differenze sono evidenti. Queste si possono osservare nella Figura 68, dove viene indicata la parte selezionata del ciclo di NEDC fra i 135 e i 180 secondi.

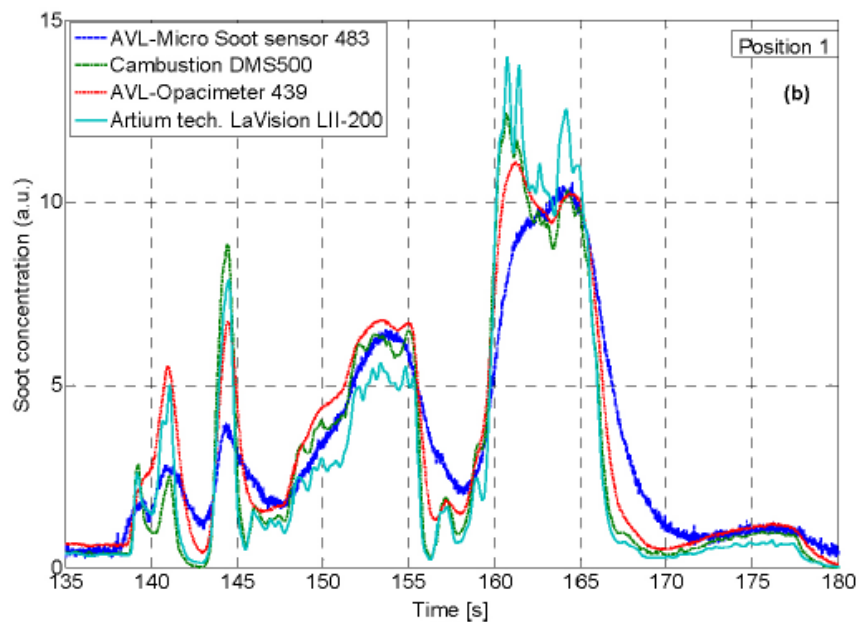
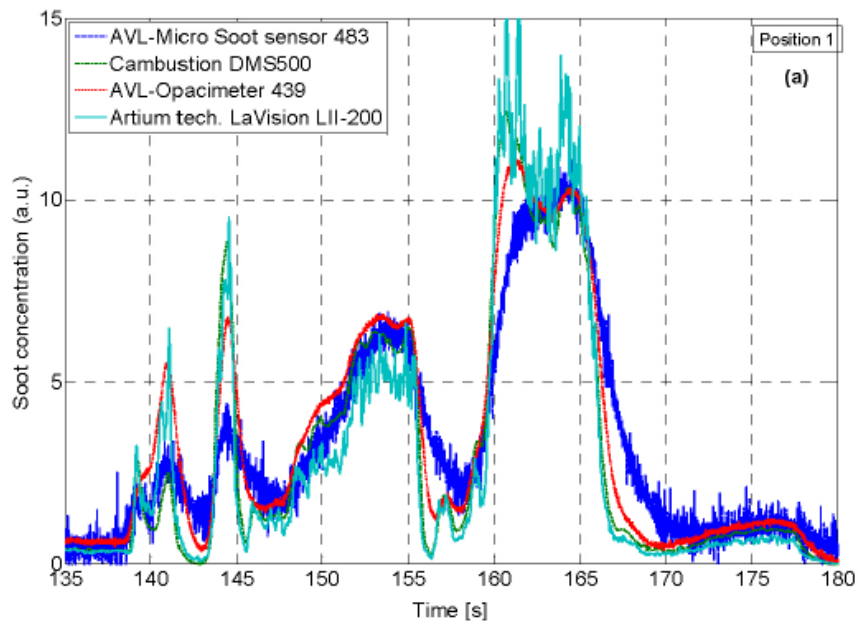


Figura 67 - Parte del ciclo di misura del soot con AVL Micro Soot (linea blu tratteggiata), con Spettrometro a Mobilità Differenziale Veloce (verde tratteggiata), con Opacimetro (rossa puntinata) e con LII (ciano continua). I dati grezzi in (a), filtrati in (b)

I dati grezzi del sensore Micro Soot Sensor mostrano un profilo rumoroso, se confrontato con gli altri dispositivi.

Dal punto di vista della sensibilità, possiamo differenziare i segnali misurati in due gruppi.

Il primo è il gruppo con la più alta risoluzione temporale del segnale misurato, che appare con un profilo più appuntito per quanto concerne il segnale filtrato. Qui possiamo includere il segnale del LII e dello spettrometro differenziale veloce di mobilità.

Il vantaggio dei dispositivi all'interno del primo gruppo è che essi sono in grado in tempo reale di risolvere più fluttuazioni nella concentrazione di polvere, picchi che non sono distinguibili e catturati dal secondo gruppo di misurazione, più lento.

Questo è fondamentalmente uno degli indicatori di sensibilità.

Un altro indicatore di risposta alla sensibilità è la capacità di risolvere un minimo locale nella concentrazione della polvere.

Un esempio è mostrato in figura 68b tra i 155s ed i 160s, dove il minimo della concentrazione misurato dal Micro Soot Sensor ha un valore più alto del valore di minimo ottenuto dagli altri strumenti. In questo caso soltanto lo spettrometro differenziale veloce di mobilità e il LII sono stati in grado di misurare questo picco di segnale.

Per valutare e comparare le differenti dinamiche di questi strumenti, un utile criterio è la pendenza del più alto picco di transitorio misurato nel ciclo NEDC. Possiamo distinguere fra picco in salita e picco in discesa. La differenza fra le pendenze del picco in salita del picco in discesa di concentrazione di soot misurata da ogni strumento può essere dovuta al raggiungimento del massimo valore misurabile. Questo effetto può influire negativamente nel segnale misurato e può causare un ritardo nel segnale o un'incertezza nella misura.

Il confronto tra il picco del transitorio nell'inclinazione verso l'alto, normalizzato al 100% di concentrazione della polvere, è mostrato nella figura 69.

Il tempo più lungo per raggiungere il 100% della concentrazione di polvere è stato misurato in caso del Micro Soot Sensor (linea tratteggiata blu); un po' più veloce è stato il segnale dell'Opacimetro (linea punteggiata rossa).

La risposta più veloce è stata ottenuta dal dispositivo LII (ciano striscia continua). In caso di diminuzione di concentrazione (pendenza verso il basso) la situazione è molto simile.

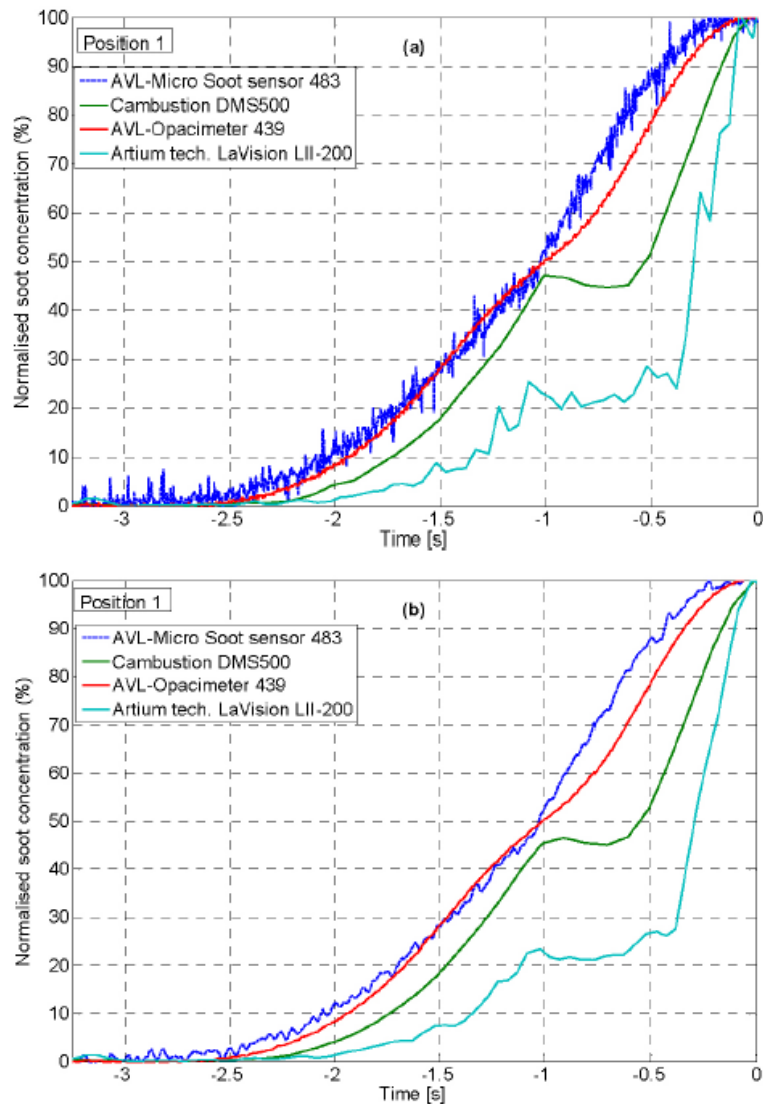


Figura 68 - Dati grezzi (a) e filtrati (b) di misura della concentrazione di soot in un transitorio ascendente

Nel caso di concentrazione decrescente (pendenza in discesa) la situazione è molto simile. In figura 70, nella misura delle emissioni in un transitorio di un ciclo NEDC, una decisa diminuzione di concentrazione è stata misurata con uno strumento LII (Laser Induced Incandescence) e con uno spettrometro a mobilità differenziale. L'Opacimetro ha mostrato

una risposta più lenta in questo transitorio ed infine la Micro Soot Device reagisce al gradiente di concentrazione meno dinamicamente.

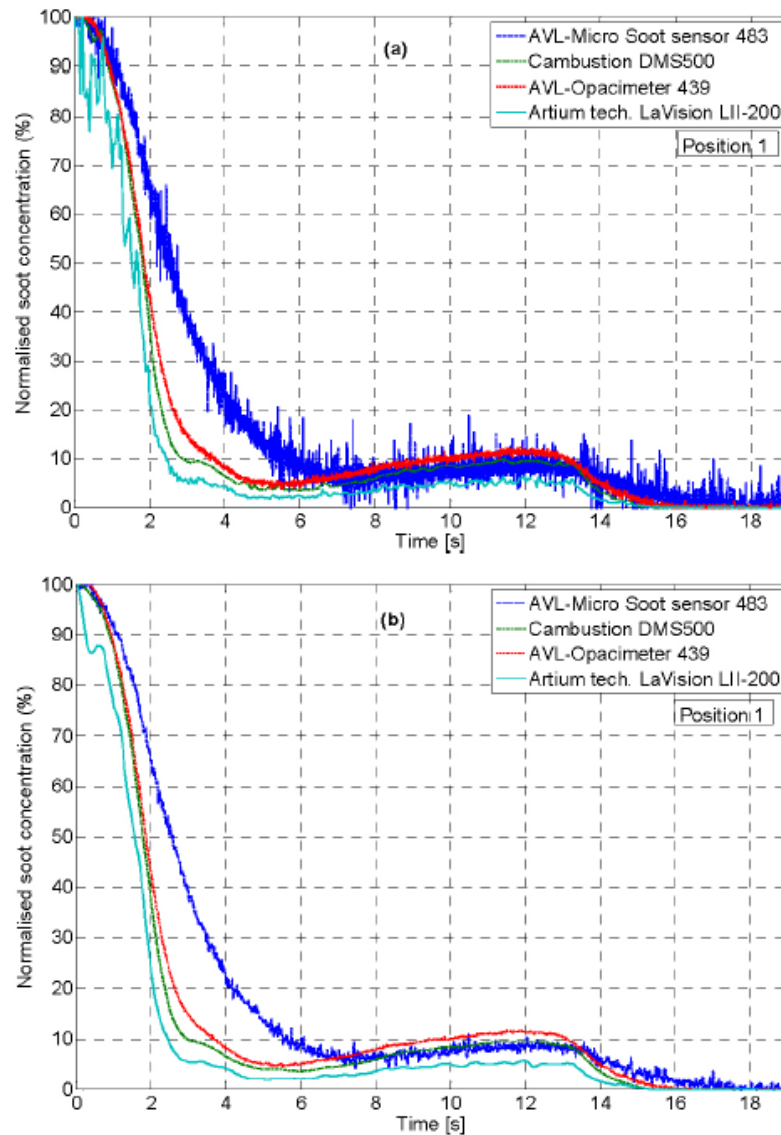


Figura 69 - Dati grezzi (a) e filtrati (b) della misura di soot in un transitorio discendente normalizzati al 100%, misurati in un ciclo NEDC nella posizione 1 - allo scarico.

I risultati dalla 2° posizione – a valle della turbina

Dalla seconda posizione di misurazione possiamo vedere che tutti gli strumenti mostrano una risposta simile alla concentrazione della polvere, con nessun profilo di cut-off.

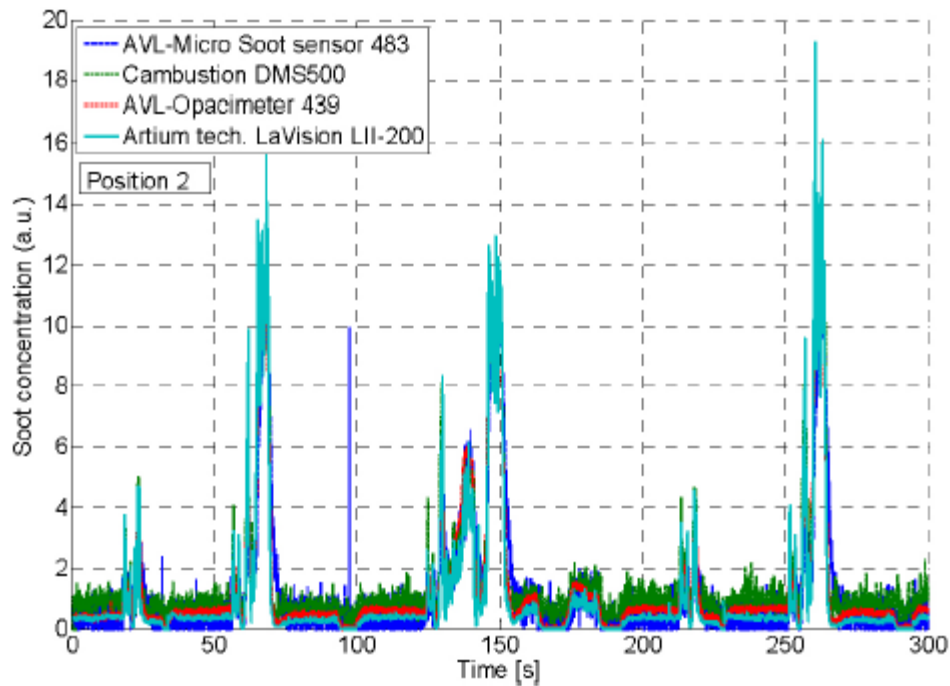


Figura 70 - Parte del test delle emissioni in transitorio durante 300s del ciclo NEDC. Gli strumenti sono collocati in posizione 2 - a valle della turbina

I dati del DMS (linea verde trattino-punto) e del Micro Soot Sensor (linea tratteggiata blu), sono molto più numerosi, rispetto ai dati grezzi del LII e dell'Opacimetro.

Per evitare un rapido accumulo di particelle nel rilevatore e i conseguenti problemi di rumore, lo strumento DMS richiede una diluizione e un limitatore di flusso del campione. In questo modo è possibile ottimizzare il flusso in un intervallo accettabile.

La parte selezionata di emissioni nel transitorio del NEDC, misurata nella posizione 2 è mostrata in figura 72. Questa parte di ciclo fra 120s e 165s corrisponde alla stessa parte selezionata e mostrata precedentemente in figura 68. I dati grezzi sono mostrati nella figura (a), quelli filtrati in figura (b)

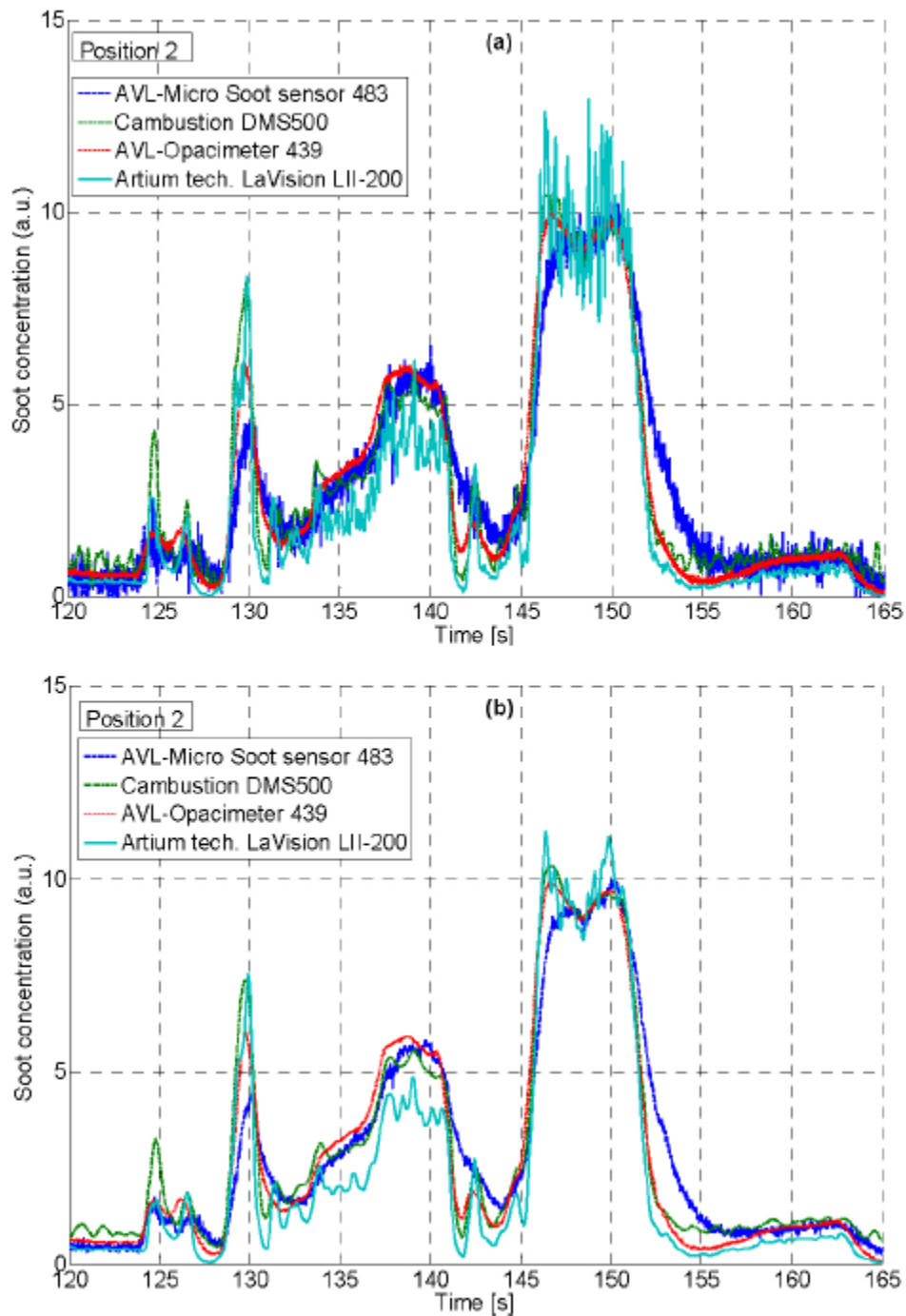


Figura 71 - Parte della misura di soot da un Micro Soot Sensor (linea blu tratteggiata), da uno Spettrometro a mobilità differenziale (linea verde tratto punto), da un'Opacimetro (linea rossa puntinata) e da un LII (linea ciano continua) durante un ciclo NEDC. In (a) i dati grezzi, in (b) quelli filtrati

Dalla pendenza dell'incremento di concentrazione, possiamo caratterizzare la risposta dinamica dello strumento nella seconda posizione di misura, a valle della turbina. Il confronto delle funzioni dell'inclinazione verso l'alto per un picco transitorio selezionato,

normalizzato al 100% di concentrazione di polvere, è indicato nella figura 73. La figura 73a) mostra i dati grezzi e la 73b) i dati filtrati.

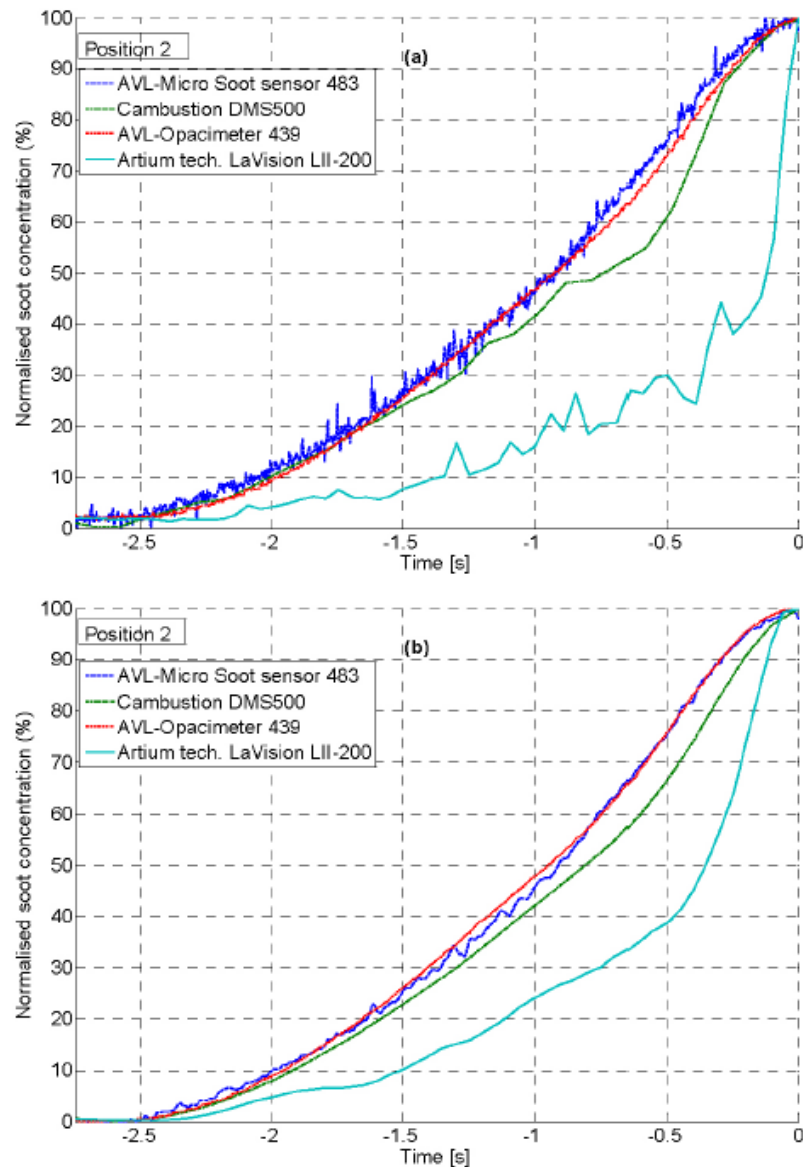
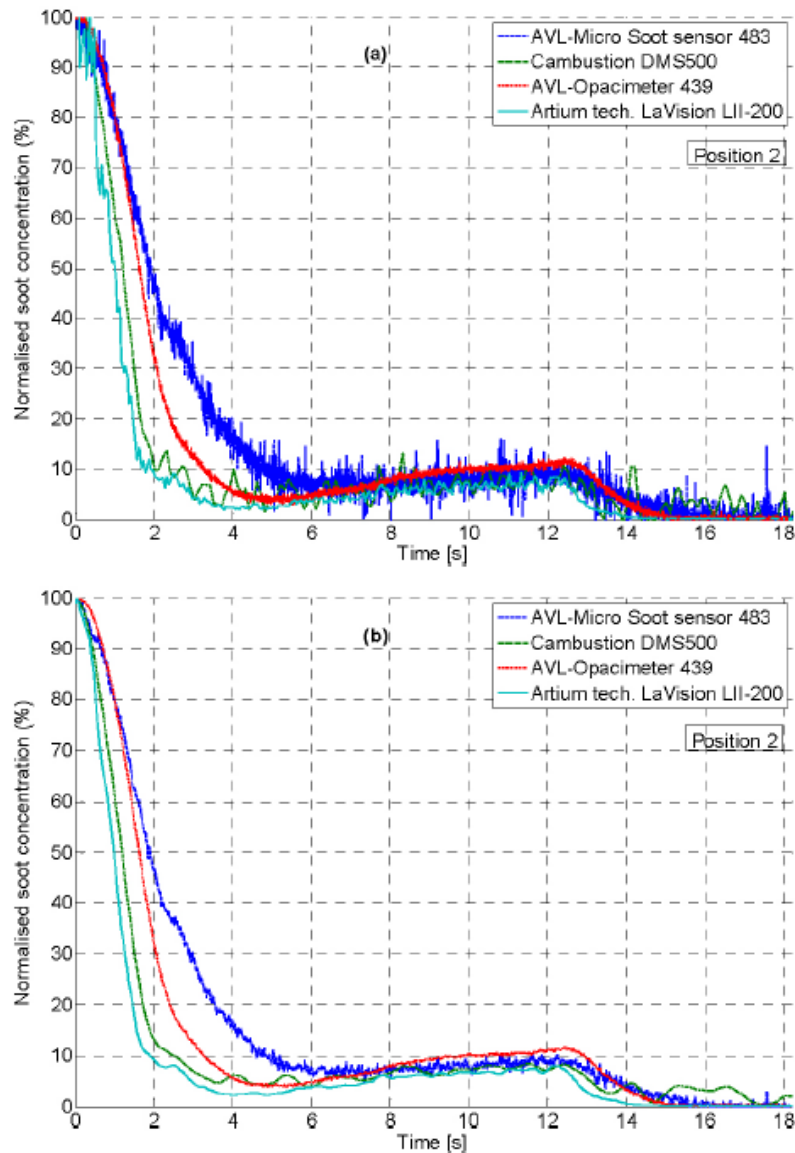


Figura 72 - I dati grezzi (a) e filtrati (b) della misura dell'incremento della concentrazione di soot in un transitorio normalizzati al 100% durante un ciclo NEDC dalla posizione 2

I risultati sono comparabili con quelli ottenuti dalla prima posizione, con una differenza significativa. I dati misurati dal DMS hanno un profilo molto simile a quello misurati dal Micro Soot Sensor e dall'Opacimetro, con un profilo non così convesso come quello misurato dal LII, che ha mostrato la dinamica più veloce nel transitorio. I segnali ottenuti dal DMS, dal Micro Soot Sensor e dall'Opacimetro mostrano un simile tempo di risposta.

Nel caso di un transitorio con pendenza discendente, da 100% a 0% di emissione di concentrazione si hanno risultati simili. Ciò è mostrato in figura 74 dove si ha la misura di concentrazione di soot durante un transitorio in un ciclo NEDC. Il decadimento più veloce è quello del LII e dello Spettrometro di mobilità differenziale. La risposta più lenta è stata misurata dall'Opacimetro e dal Micro Soot Sensor.



*Figura 73 - Dati grezzi (a) e filtrati (b) della misura di emissioni di soot durante un transitorio discendente normalizzato al 100%, misurati durante un test NEDC dalla posizione 2
I risultati dalla 3° posizione – a monte della turbina*

Poiché questo punto è situato molto vicino al motore in se, la temperatura del soot e la pressione del flusso del gas e della polvere sono molto alte.

Questa posizione di misurazione, pertanto non è appropriata per ogni dispositivo coinvolto. L'unico adatto per essere inserito in questa posizione è stato il dispositivo LII.

Il Micro Soot Sensor, lo Spettrometro differenziale di mobilità e l'Opacimetro rimangono nella seconda posizione - a valle della turbina.

I dati filtrati da un transitorio eseguito durante un ciclo NEDC sono mostrati in figura 10. La figura mostra le emissioni registrate dai vari strumenti da 50s a 300s. tutti gli strumenti funzionavano simultaneamente durante le misure. I risultati mostrano una risposta simile alla concentrazione di soot come misurato allo scarico, senza segni di cut-off o di interruzione del profilo

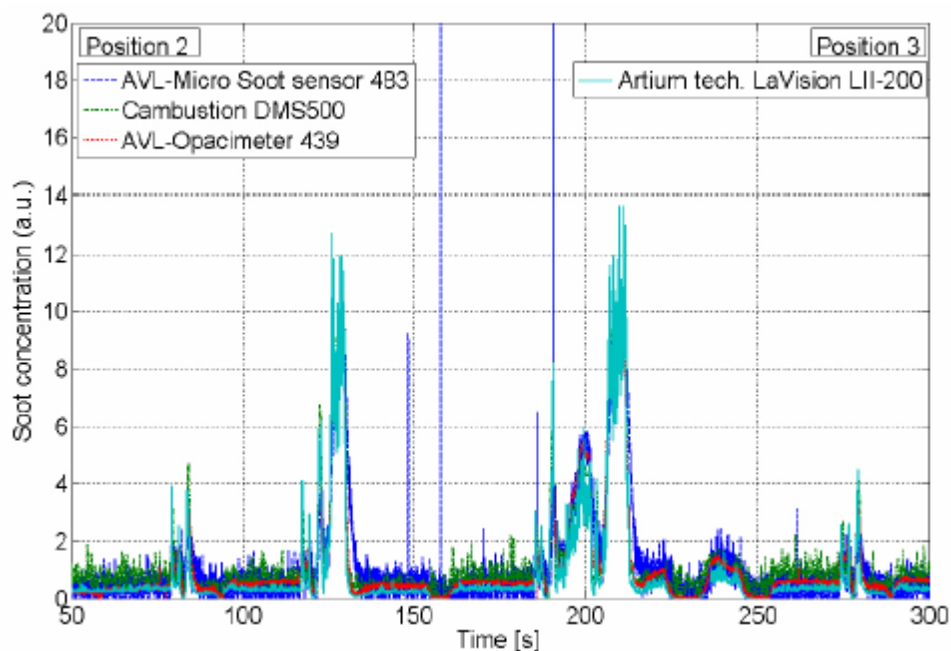


Figura 74 - Parte di un test di emissioni in un ciclo NEDC. Micro Soot Sensor, Spettrometro a Mobilità differenziale ed Opacimetro sono stati collocati in posizione 2. LII in posizione 3

Un dettaglio del test NEDC è mostrato in figura 76, che si riferisce alla stessa parte delle figure 68 e 72.

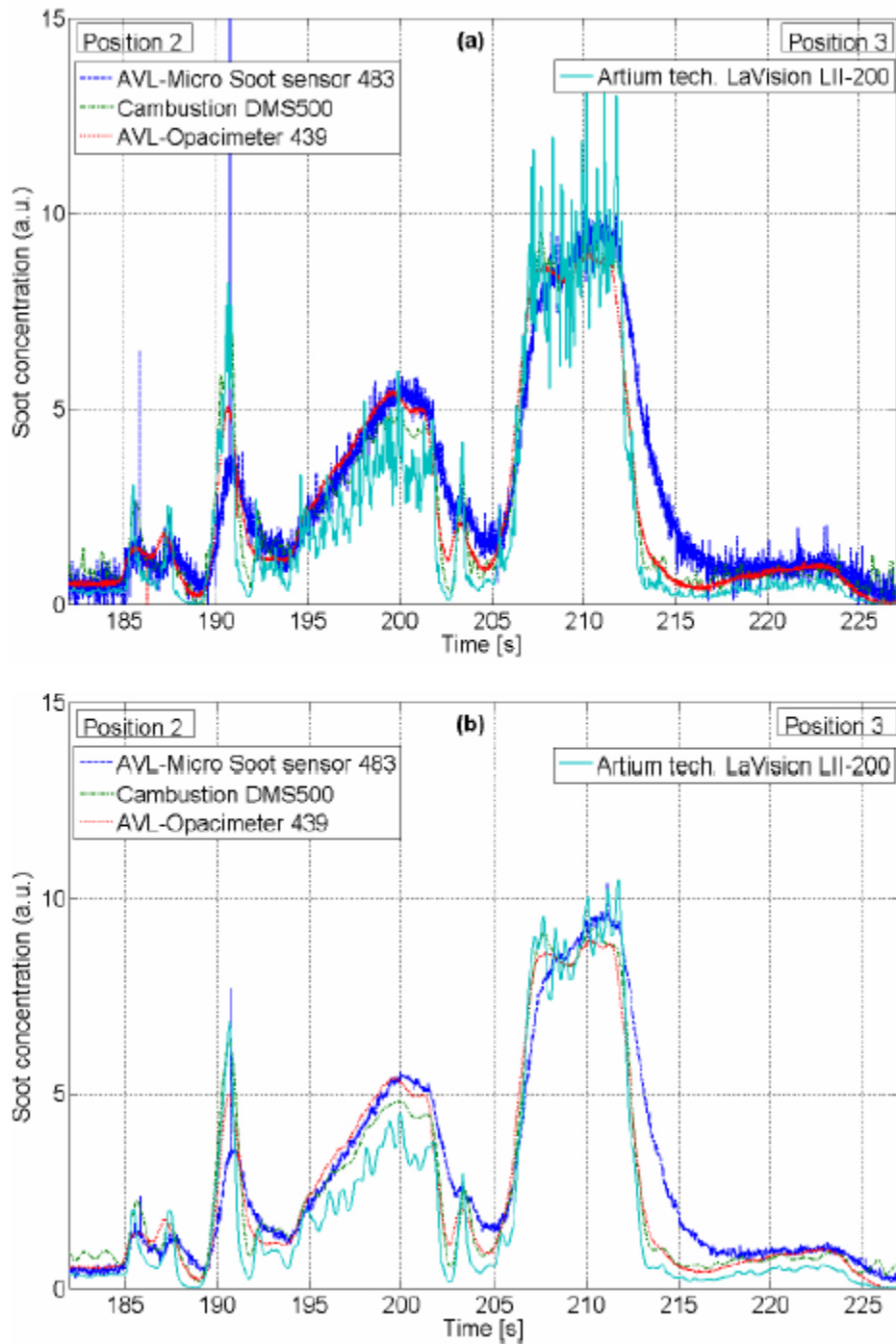


Figura 75 - Parte delle misure di soot durante un test NEDC da un Micro Soot Sensor, uno Spettrometro a mobilità differenziale ed un Opacimetro in posizione 2 ed un LII in posizione 3. In (a) i dati grezzi, in (b) quelli filtrati

Soltanto il segnale creato dal LII rivela la più veloce fluttuazione nella dinamica delle particelle di polvere.

Ciò è evidente anche dal confronto di funzioni ascendenti di concentrazione di soot normalizzate mostrato in figura 77.

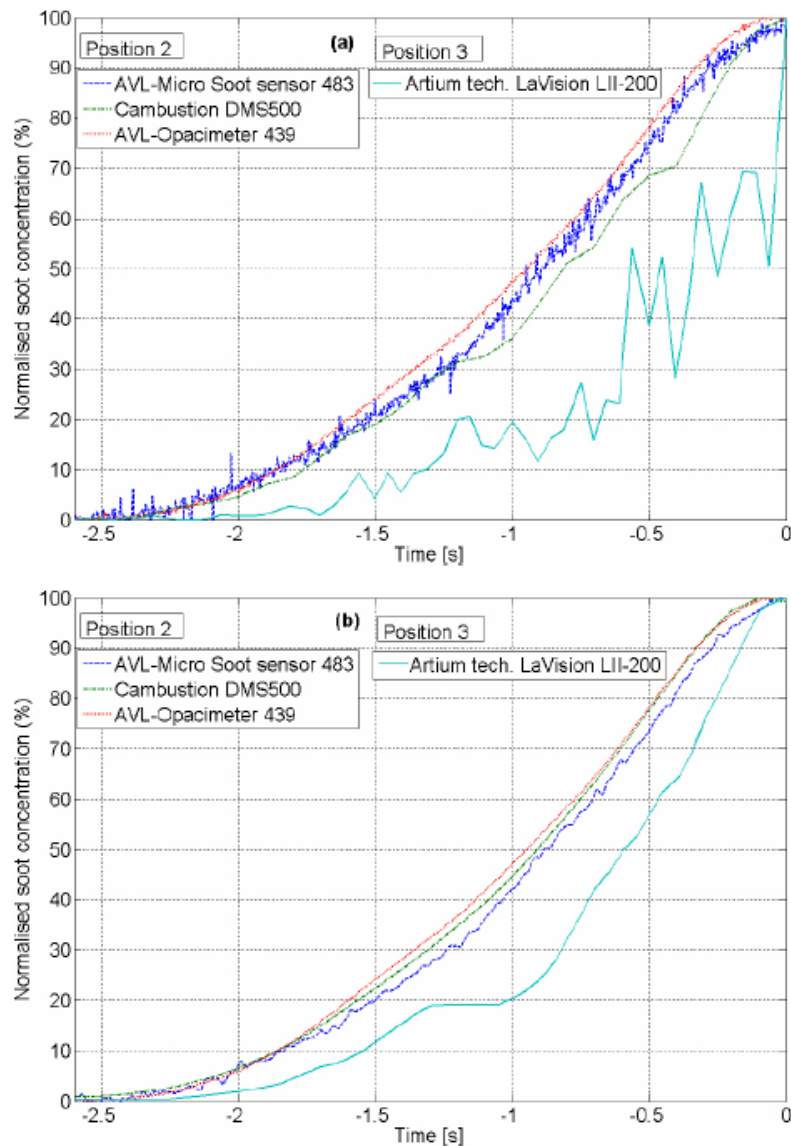


Figura 76 - Dati grezzi (a) e filtrati (b) della misura di concentrazione di soot in un transitorio ascendente misurato in un ciclo NEDC dalle posizione 2 e 3

Un cambiamento veloce è quindi registrato da LII e risulta come un fluttuazione nei dati misurati durante l'inclinazione verso l'alto o la misura transitoria dell'inclinazione verso il basso. L'aumento più veloce di concentrazione dal 50% al 100% è stato misurato dal LII in 0.59s, seguono il Micro Soot Sensor con 0.88s, lo Spettrometro di mobilità differenziale con 0.91s e l'Opacimetro con 0.94 s.

LII mostra dei picchi visibili nelle salite o nelle discese del segnale che indicano il limite di sensibilità del LII durante le misure nei transitori.

Le misure del segnale discendente di emissioni di soot misurate dalla seconda e dalla terza posizione durante il ciclo NEDC sono mostrate in figura 78.

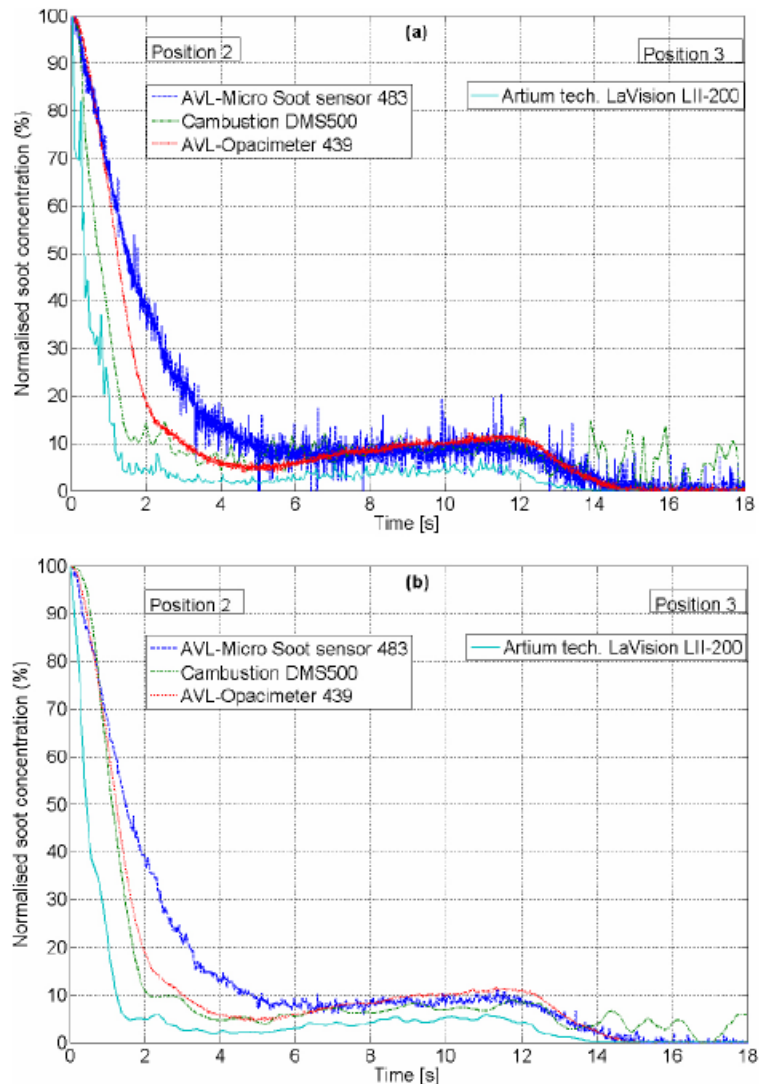


Figura 77 - Dati grezzi (a) e filtrati (b) della misura di concentrazione di soot in un transitorio discendente misurati durante un ciclo NEDC dalle posizioni 2 e 3

Dalla diminuzione di concentrazione dal 100% al 50 % si nota come la risposta più veloce è misurata dal LII in 0.36s, poi lo Spettrometro di mobilità differenziale in 0.82, l'Opacimetro in 1.24 s ed il Micro Soot Sensor in 1.49s.

La tabella 2 mostra un sommario delle misure.

Tabella 8 - Sommario delle misure effettuate

Device	Location of sensors					
	Position 1 -Tailpipe		Position 2 - Downstream of the turbine		Position 2 and 3 (LII) - Upstream of the turbine	
	50% - 100%	100%- 50%	50% - 100%	100%- 50%	50% - 100%	100%- 50%
	Time (s)	Time (s)	Time (s)	Time (s)	Time (s)	Time (s)
Micro soot sensor	1.03	2.56	0.90	1.84	0.88	1.49
Differential mobility spectrometer	0.55	1.79	0.80	1.19	0.91	1.13
Opacimeter	1.01	1.86	0.94	1.62	0.94	1.24
Laser Induced Incandescence	0.29	1.56	0.35	0.98	0.59	0.44

Conclusioni

Si è mostrato un confronto durante un veloce transitorio fra AVL Micro soot sensor 483, DMS 500 di Cambustion, un Opacimetro AVL 439 ed uno strumento a Laser Induced Incandescence di Artium Technologies Inc., il LII 200. Gli strumenti sono stati collocati in diverse posizioni rispetto al turbocompressore per valutare la possibilità di essere collocati vicino all'evento della combustione. Tutti gli strumenti hanno mostrato una risposta simile alla concentrazione di soot senza cut-off o **disruption** del segnale.

Tuttavia vi sono alcune differenze per quanto riguarda la sensibilità e la dinamica.

Per quanto riguarda la *sensibilità*, LII e DMS riescono ad avere una risoluzione maggiore dell'Opacimetro e del Micro soot sensor nel mostrare variazioni in un veloce transitorio

Ciò indica che *LII e DMS hanno una maggior risoluzione temporale dell'Opacimetro e del Micro Soot*.

La *risposta dinamica* è stata misurata dalla pendenza di veloci picchi di transitori. La tecnica più veloce si è mostrata essere la *LII*, seguita dal *DMS*, dall'*Opacimetro* ed infine dal *Micro Soot Sensor*.

A causa di problemi rilevati per l'elevata temperatura o per la pressione del flusso dei gas, l'unico strumento che è riuscito a misurare correttamente a monte della turbina è stato il Laser Induced Incandescence (LII).

LII è sufficientemente veloce e sensibile per i futuri controlli delle emissioni generate durante il processo di combustione.

Capitolo 11

Motore FIAT 1.3 Multijet 16V ^[30]

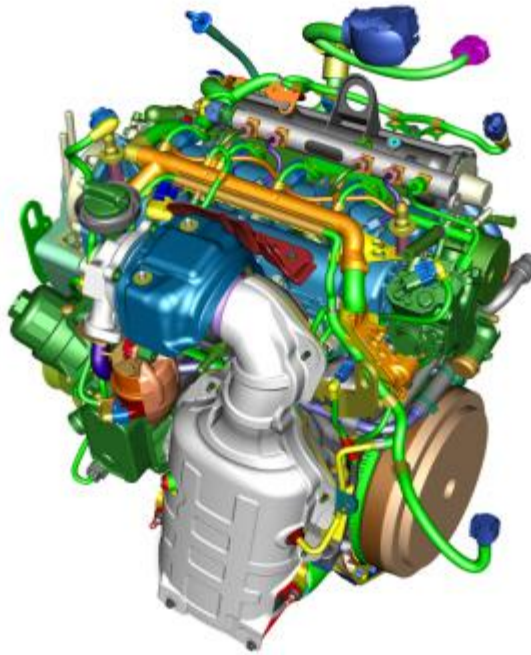
1. Caratteristiche generali

Questo motore adotta un sistema di iniezione elettronica ad alta pressione per motori diesel veloci “Magneti Marelli Common Rail” gestito completamente da una centralina Multijet MJD8F2.

Per il contenimento delle emissioni inquinanti (Euro 5) questo motore è dotato di:

- impianto di scarico con convertitore catalitico ossidante con DPF e sonda lambda;
- impianto ricircolo gas di scarico E.G.R. con scambiatore di calore;
- impianto ricircolo vapori/gas del basamento.

Motore turbodiesel, iniezione diretta senza precamera, 4 cilindri in linea, 1248 c.c., quattro valvole per cilindro con punterie idrauliche, due alberi a camme in testa con trasmissione del moto ad ingranaggi, sovralimentazione aria con turbocompressore (a geometria variabile per la versione 95CV), intercooler, impianto di iniezione elettronica Magneti Marelli MJD8F2 Common Rail.



1.1 Funzione

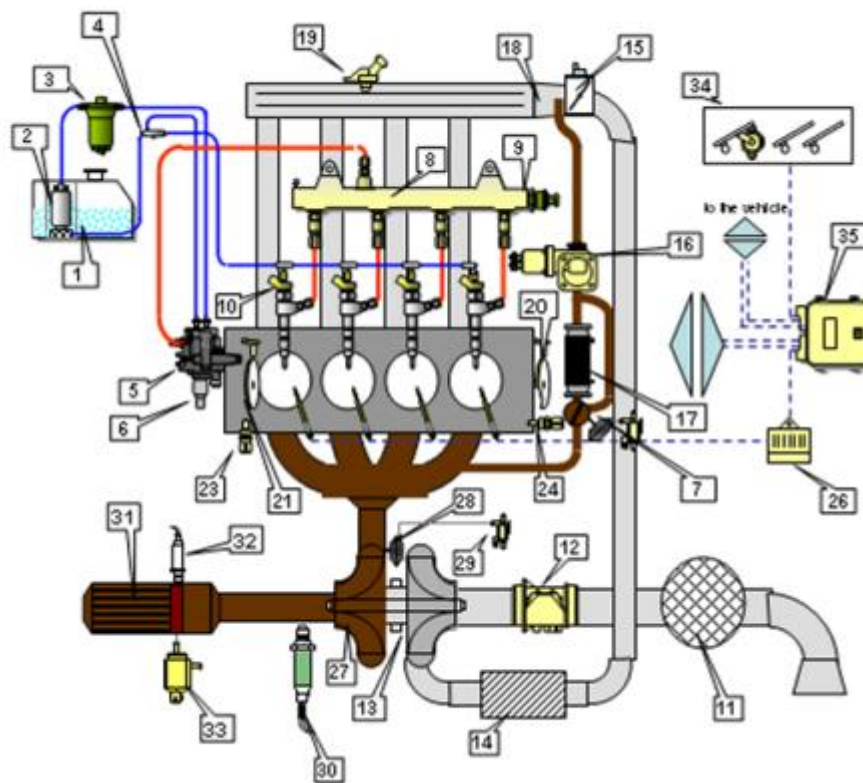
Il Common Rail Magneti Marelli MJD8F2 è un sistema di iniezione elettronica ad alta pressione per motori diesel veloci ad iniezione diretta.

Le principali caratteristiche sono:

- disponibilità di pressioni di iniezione elevate (1600 bar);
- possibilità di modulare queste pressioni tra 150 bar fino al valore massimo di esercizio di 1600 bar, indipendentemente dalla velocità di rotazione e dal carico motore;
- capacità di operare a regimi motore elevati (fino a 5000 giri/min. a pieno carico);
- precisione del comando dell'iniezione (anticipo e durata dell'iniezione);
- riduzione dei consumi;
- riduzioni delle emissioni.

Le principali funzioni del sistema sono essenzialmente le seguenti:

- controllo temperatura liquido raffreddamento motore;
- controllo quantità combustibile iniettata;
- controllo del regime di minimo;
- taglio del combustibile in fase di rilascio (Cut-off);
- controllo bilanciamento cilindri al minimo;
- controllo antiseghettamento
- controllo fumosità dello scarico in accelerazione;
- controllo ricircolo gas di scarico (E.G.R.);
- controllo limitazione coppia massima;
- controllo limitazione regime massimo;
- controllo candele di preriscaldamento;
- controllo entrata in funzione impianto di climatizzazione (ove previsto);
- controllo pompa combustibile ausiliaria;
- controllo della posizione dei cilindri per fasatura;
- controllo anticipo iniezioni principali e multiple;
- controllo ciclo chiuso della pressione di iniezione;
- controllo del bilancio elettrico;
- calibrazione iniettori IMA;
- controllo pressione carburante;
- controllo sonda lambda;
- controllo del compressore a geometria variabile;
- controllo vita olio motore.



1. Serbatoio combustibile
2. Pompa combustibile ausiliaria
3. Filtro combustibile
4. Collettore di ritorno combustibile
5. Pompa di pressione
6. Regolatore di pressione sulla pompa
7. Elettrovalvola di by-pass raffreddamento EGR
8. Rail
9. Sensore di pressione combustibile su rail
10. Elettroiniettori
11. Filtro aria
12. Misuratore portata aria (debimetro)
13. Compressore
14. Intercooler

15. Corpo farfallato motorizzato
16. Elettrovalvola E.G.R.
17. Scambiatore di calore per E.G.R.
18. Diffusore E.G.R.
19. Sensore di pressione e temperatura aria
20. Sensore di giri
21. Sensore di fase
23. Interruttore di minima pressione olio motore
24. Sensore temperatura acqua
25. Candele di preriscaldamento
26. Centralina candele di preriscaldamento
27. Turbocompressore a geometria variabile (per versione 95CV)
27. Turbocompressore a geometria fissa (per versione 75CV)
28. Attuatore VGT con sensore di posizione (per versione 95CV)
28. Attuatore waste-gate (per versione 75CV)
29. Elettrovalvola comando attuatore VGT (per versione 95CV)
29. Elettrovalvola comando attuatore waste-gate (per versione 75CV)
30. Sonda lambda
31. DPF
32. Sensore di temperatura DPF
33. Sensore di pressione differenziale per DPF
34. Pedaliera
35. Centralina di iniezione

2.Funzionamento

Logiche di funzionamento

Generalità

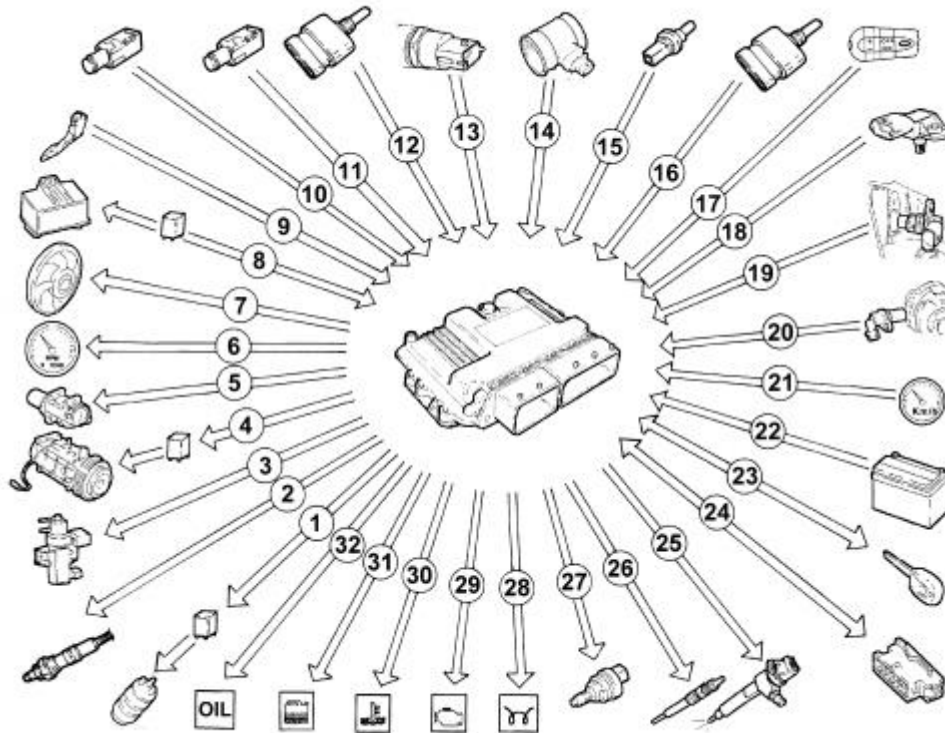
Il sistema Common Rail consente di effettuare fino a due iniezioni pilota prima del P.M.S. con il vantaggio di distribuire più uniformemente la pressione in camera di scoppio, riducendo il valore di rumorosità della combustione, tipico dei motori a iniezione diretta e fino a due iniezioni dopo l'iniezione principale con il vantaggio di diminuire i valori di emissione.

La centralina controlla la quantità di combustibile iniettato, regolando la pressione di linea e i tempi di iniezione.

Le informazioni che la centralina elabora per controllare la quantità di combustibile da iniettare sono:

- giri motore;
- temperatura liquido di raffreddamento;
- pressione di sovralimentazione;
- temperatura aria (da debimetro);
- quantità aria aspirata;
- tensione batteria;
- pressione gasolio;
- posizione pedale acceleratore;
- temperatura gasolio;
- segnali lambda.

Schema informazioni in entrata/uscita dalla centralina



1. Elettropompa combustibile ausiliaria
2. Sonda Lambda
3. Elettrovalvola VGT
4. Compressore condizionatore (dove previsto)
5. Elettrovalvola E.G.R.
6. Contagiri
7. Elettroventola raffreddamento
8. Centralina preriscaldamento candele
9. Potenzenziometro pedale acceleratore doppia traccia
10. Interruttore pedale freno
11. Interruttore pedale frizione

12. Sensore temperatura combustibile
13. Sensore pressione combustibile
14. Debimetro
15. Sensore temperatura liquido di raffreddamento
16. Sensore presenza acqua nel filtro gasolio
17. Cruise control (dove previsto)
18. Sensore di sovrappressione temperatura aria
19. Sensore di fase
20. Sensore di giri motore
21. Tachimetro
22. Batteria
23. CODE (body computer)
24. Presa per diagnosi
25. Elettroiniettori
26. Candele di preriscaldamento
27. Regolatore di pressione sulla pompa
28. Spia preriscaldamento candele
29. Spia iniezione
30. Spia max temperatura acqua
31. Spia presenza acqua nel filtro combustibile
32. Spia OIL

Autodiagnosi

Il sistema di autodiagnosi della centralina verifica i segnali provenienti dai sensori confrontandoli con i dati limite consentiti.

SEGNALAZIONI GUASTI ALL'AVVIAMENTO:

- Spia accesa fino a motore avviato indica fase test;
- Spia spenta dopo avviamento motore indica nessuna avaria a componenti che compromettono la sicurezza del sistema;
- Spia accesa a motore in moto indica avaria.

SEGNALAZIONE GUASTI DURANTE IL FUNZIONAMENTO:

- Spia accesa indica avaria;
- Spia spenta indica nessuna avaria a componenti che compromettono la sicurezza del sistema.

RECOVERY

La centralina definisce di volta in volta il tipo di recovery in funzione dei componenti in avaria.

I parametri di recovery sono gestiti dai componenti non in avaria.

Riconoscimento Code

La centralina nel momento in cui riceve il segnale di chiave su "MAR" dialoga con il body computer attraverso la funzione CODE per ottenere il consenso all'avviamento.

Controllo temperatura combustibile

La centralina con temperatura combustibile a 80 °C, rilevata dal sensore nel filtro gasolio, comanda il regolatore di pressione al fine di ridurre la pressione in linea e se non è sufficiente riduce anche la quantità di combustibile iniettata.

Controllo temperatura liquido di raffreddamento motore

La centralina con temperatura liquido di raffreddamento motore superiore a 105 °C:

- riduce la quantità di combustibile iniettata (riduce la potenza motore);
- comanda l'elettroventola di raffreddamento
- accende la spia temperatura liquido di raffreddamento.

Controllo quantità combustibile iniettata

La centralina in base ai segnali provenienti dai sensori e ai valori mappati:

- comanda il regolatore di pressione sul rail;
- comanda il regolatore sulla pompa di pressione per modulare la portata combustibile
- varia il tempo delle iniezioni "pilota" in tutto il range di giri;
- varia il tempo di iniezione "principale".

Controllo del regime di minimo

La centralina elabora i segnali provenienti dai sensori e regola la quantità di combustibile iniettata:

- comanda il regolatore di pressione;
- varia i tempi di iniezione degli elettroiniettori.

Entro certe soglie il regime tiene conto della tensione batteria.

Taglio del combustibile in fase di rilascio (cut-off)

La centralina in fase di rilascio del pedale acceleratore attua le seguenti logiche:

- posiziona a zero il tempo apertura iniettore;
- varia parzialmente il tempo di iniezione degli elettroiniettori prima del raggiungimento del regime minimo;
- comanda il regolatore di pressione combustibile.

Controllo bilanciamento cilindri al minimo

La centralina in base ai segnali ricevuti dai sensori controlla la regolarità della coppia fino al minimo:

- varia la quantità di combustibile iniettata nei singoli elettroiniettori (tempo di iniezione).

Controllo antiseghettamento

La centralina elabora i segnali ricevuti dai vari sensori e corregge la quantità di combustibile da iniettare al fine di migliorare la guidabilità riducendo gli strattonamenti in marcia tramite il tempo di apertura degli elettroiniettori.

Controllo fumosità allo scarico in accelerazione

Al fine di limitare la fumosità nei transitori veloci, la centralina in base ai segnali ricevuti dal potenziometro pedale acceleratore, sonda lambda, debimetro e giri motore, limita la quantità di combustibile da iniettare tramite:

- il regolatore di pressione
- il tempo di iniezione degli elettroiniettori.
- E.G.R.

Controllo ricircolo gas di scarico (E.G.R.)

In funzione della normativa anti inquinamento, la centralina in base al carico motore e al segnale proveniente dal potenziometro pedale acceleratore, limita la quantità di aria fresca aspirata, attuando la parziale aspirazione dei gas di scarico, tramite:

- la regolazione dell'apertura della valvola E.G.R. elettrica.

Controllo limitazione coppia massima

La centralina in funzione del numero di giri calcola su mappe predefinite:

- la coppia limite;
- il fumo (limite) ammesso.

Confronta questi valori minimi e li corregge con altri parametri:

- temperatura liquido di raffreddamento;
- numero giri motore;
- velocità vettura;
- temperatura aria.

e comanda la quantità di combustibile da iniettare (regolatore di pressione - elettroiniettori).

Controllo limitazione regime massimo

La centralina, quando il motore arriva a 5200 giri/min, interrompe il pilotaggio degli iniettori e di conseguenza viene ridotta la pressione di alimentazione.

Controllo candele di preriscaldamento

La centralina di iniezione in fase di:

- avviamento;
- post-avviamento;

temporizza il funzionamento della centralina di preriscaldamento candele in funzione della temperatura motore.

Controllo entrata in funzione dell'impianto di condizionamento

La centralina comanda il compressore del climatizzatore:

- inserendolo/disinserendolo quando viene premuto il relativo interruttore;
- disinserendolo momentaneamente (per alcuni secondi) in caso di forte accelerazione o richiesta di massima potenza.

Controllo elettropompa combustibile ausiliaria

La centralina indipendentemente dal regime di giri:

- alimenta la pompa combustibile ausiliaria con chiave su MAR;
- esclude l'alimentazione della pompa ausiliaria nel caso in cui il motore non venga avviato entro alcuni secondi.

Controllo della posizione dei cilindri

La centralina durante ogni giro motore riconosce quale cilindro si trova in fase di scoppio e comanda la sequenza di iniezione al cilindro opportuno.

Controllo anticipo iniezione principale ed iniezione pilota

La centralina in base ai segnali provenienti dai vari sensori, compreso il sensore di pressione assoluta integrato nella centralina stessa, determina secondo una mappatura interna, il punto di iniezione ottimale, non solo in funzione del comfort di marcia, ma anche del rispetto dei limiti di emissione.

Controllo ciclo chiuso della pressione di iniezione

La centralina sulla base del carico motore, determinato dall'elaborazione dei segnali provenienti dai vari sensori, comanda il regolatore sulla pompa di pressione per ottenere una pressione di linea ottimale.

Controllo del bilancio elettrico

La centralina in funzione della tensione batteria, varia il regime del minimo:

- aumenta il tempo di iniezione degli elettroiniettori;
- regola la pressione di linea.

Controllo elettroventola

La centralina, in funzione della temperatura acqua motore e della pressione del fluido refrigerante nell'impianto di condizionamento, comanda:

- l'inserimento dell'elettroventola alla prima o seconda o terza velocità

Controllo del sistema cruise control (ove previsto)

La centralina in funzione della posizione della leva di comando cruise control, pilota direttamente la quantità di combustibile iniettato per controllare e mantenere la velocità vettura memorizzata.

Una spia sul cruscotto, attivata dalla centralina, indica lo stato di funzionamento o disattivazione del sistema.

Il cruise control viene disabilitato momentaneamente:

- azionando il freno;
- azionando la frizione;
- con il pulsante “resume” si ritorna alla velocità memorizzata.

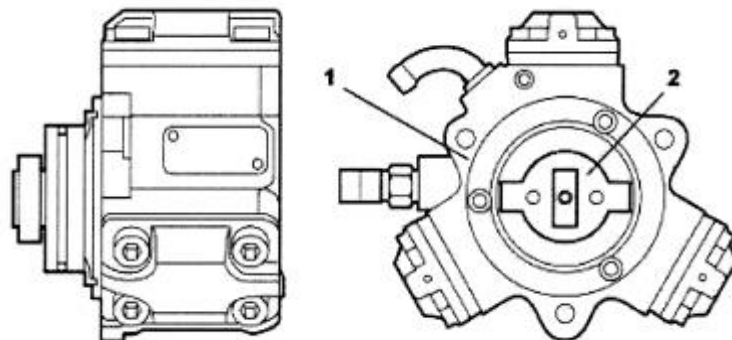
Il cruise control non viene disabilitato in caso di richiesta di accelerazione (es. un sorpasso) e riporta automaticamente la vettura alla velocità impostata non appena viene rilasciato l’acceleratore.

La funzione ASR (antispin) ha la priorità sul cruise control per motivi di sicurezza.

Pompa di pressione

Tipologia

La pompa di pressione “CP1” (1) è del tipo “radialjet” a tre pistoni radiali, (cilindrata totale 0.567 c.c.) ed è comandata dall’asse a camme tramite un giunto “oldham” (2); non ha posizioni di fasatura.



Struttura

Ogni gruppo pompante è costituito da:

- un pistone azionato da un eccentrico solidale con l’albero della pompa;
- una valvola di aspirazione a piattelli;
- una valvola di mandata a sfera.

La pompa di pressione deve essere alimentata con una pressione di almeno 0.7 bar; pertanto l'impianto combustibile è dotato di una elettropompa ausiliaria immersa nel serbatoio.

La pressione massima di mandata raggiunge i 1400 bar.

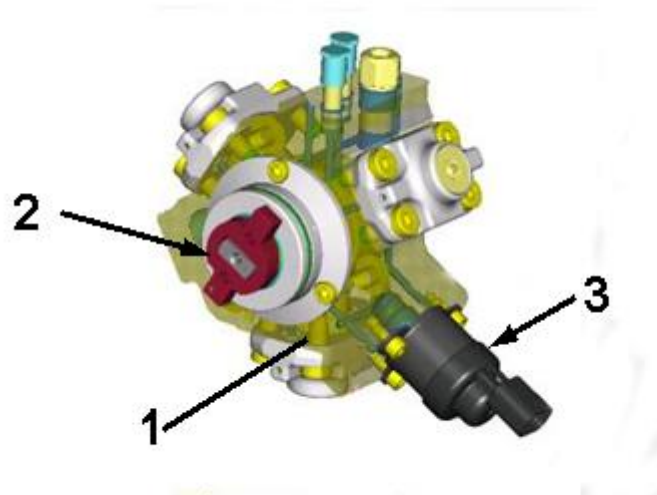
La pompa di pressione è lubrificata e raffreddata dallo stesso combustibile tramite opportune canalizzazioni.

Caratteristiche

Tipologia

La pompa di pressione "CP1 H" (1) è del tipo "radialjet" a tre pistoni radiali, (cilindrata totale 0.697 c.c.) ed è comandata dall'asse a camme tramite un giunto "oldham" (2); non ha posizioni di fasatura. Sulla pompa è montato un regolatore di pressione combustibile (3), collegato alla centralina di iniezione per la modulazione della portata.

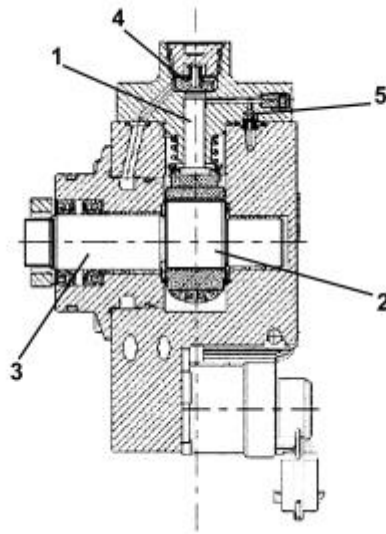
Il regolatore di pressione combustibile è parte integrante della pompa di pressione e pertanto non è ammessa l'operazione di stacco/riattacco.



Struttura

Ogni gruppo pompante è costituito da:

- un pistone (1) azionato da un eccentrico (2) solidale con l'albero della pompa (3);
- una valvola di aspirazione a piattello (4);
- una valvola di mandata a sfera (5).



La pompa di pressione deve essere alimentata con una pressione di almeno 0.7 bar; pertanto l'impianto combustibile è dotato di una elettropompa ausiliaria immersa nel serbatoio.

La pressione massima di mandata raggiunge i 1600 bar.

La pompa di pressione è lubrificata e raffreddata dallo stesso combustibile tramite opportune canalizzazioni.

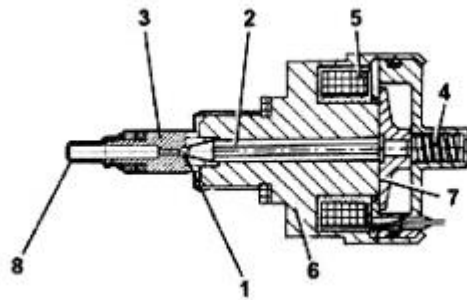
Regolatore di pressione

Caratteristiche

E' montato sul rail e comandato dalla centralina di iniezione, regola la pressione di alimentazione del combustibile agli elettroiniettori.

Il regolatore di pressione è costituito principalmente da:

- un otturatore sferico (1);
- un perno (2) di comando valvola (3);
- una molla di precarico (4);
- una bobina (5).



1. Otturatore sferico
2. Perno
3. Valvola
4. Molla di precarico
5. Bobina
6. Corpo
7. Ancora
8. Filtro

Elettroiniettori

Gli elettroiniettori di nuova concezione, tipo “CRI 2”, sono montati sulla testa cilindri e comandati dalla centralina di iniezione.

L’elettroiniettore si può suddividere in due parti:

- attuatore/polverizzatore composto da asta di pressione (1), spina (2) e ugello (3);

- elettrovalvola di comando composta da bobina (4) e valvola pilota (5).

Il funzionamento dell'elettroiniettore si può dividere in tre fasi.

POSIZIONE DI RIPOSO, la bobina (4) è diseccitata e l'otturatore (6) è in posizione di chiusura e non consente introduzione di combustibile nel cilindro $F_c > F_a$ (F_c : dovuta alla pressione di linea che agisce sull'area di controllo (7) dell'asta (1); F_a : dovuta alla pressione di linea che agisce nel volume di alimento (8)).

INIZIO INIEZIONE, la bobina (4) è eccitata e provoca l'innalzamento dell'otturatore (6).

Il combustibile del volume di controllo (9) defluisce verso il collettore di ritorno (10) provocando un calo di pressione sull'area di controllo (7).

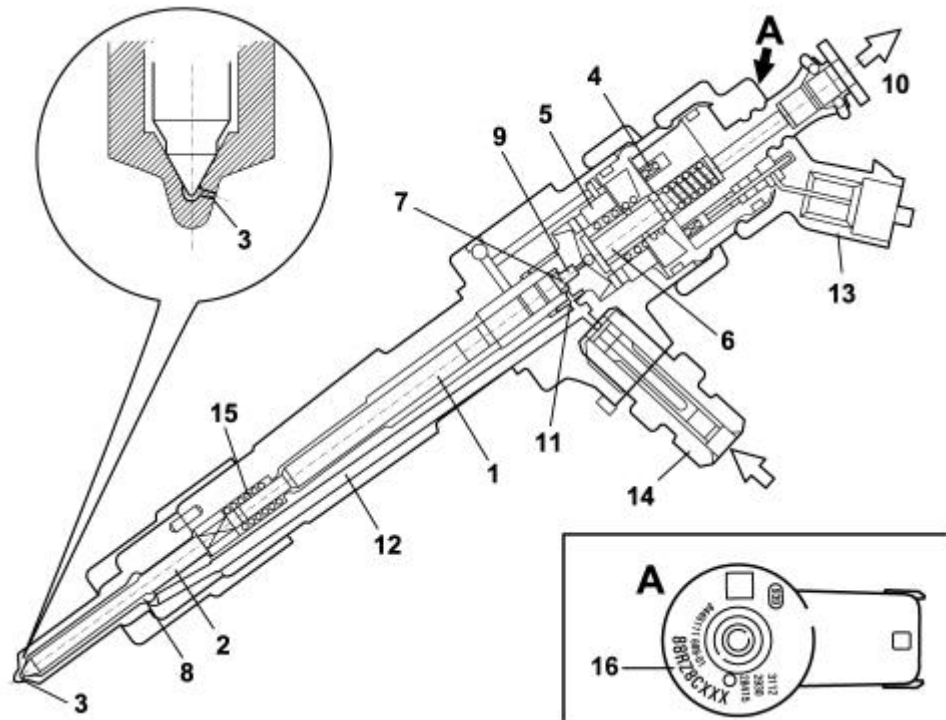
Contemporaneamente la pressione di linea attraverso il condotto di alimento (12) esercita nel volume di alimento (8) una forza $F_a > F_c$ provocando l'innalzamento della spina (2) con conseguente introduzione di combustibile nei cilindri.

FINE INIEZIONE, la bobina (4) è diseccitata e fa tornare in posizione di chiusura l'otturatore (6) che ricrea un equilibrio di forze tale da far tornare in posizione di chiusura la spina (2) e di conseguenza terminare l'iniezione.

Classificazione IMA

In fase di collaudo gli iniettori vengono verificati controllandone le caratteristiche in diverse condizioni di pressione/portata. Tutti gli iniettori che non rientrano all'interno di un determinato standard vengono eliminati; i rimanenti vengono classificati con un codice alfanumerico di nove caratteri, detto codice IMA, riportato con scrittura laser sulla parte superiore del magnete.

Al montaggio su vettura la centralina deve memorizzare il singolo codice ed in caso di sostituzione di uno o più iniettori in assistenza si dovrà provvedere tramite la diagnosi con strumento, all'inserimento della variazione del codice.



1. Asta di pressione
2. Spina
3. Ugello
4. Bobina
5. Valvola pilota
6. Otturatore a sfera
7. Area di controllo
8. Volume di alimentazione
9. Volume di controllo
10. Ritorno combustibile - bassa pressione
11. Condotto di controllo
12. Condotto di alimento
13. Connessione elettrica

14. Raccordo entrata combustibile - alta pressione

15. Molla

16. Codice IMA

7. Tubo collettore combustibile unico

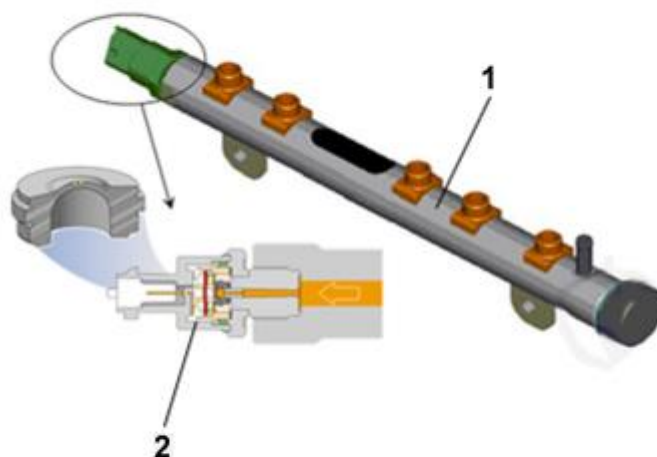
Il tubo collettore combustibile unico (rail) è montato sulla testa cilindri lato aspirazione.

Con il suo volume di circa 20,5 c.c. smorza le oscillazioni di pressione del combustibile dovute:

- al funzionamento della pompa di pressione
- all'apertura degli elettroiniettori.

Da un lato del collettore di mandata (1) è montato il sensore pressione combustibile (2).

I collegamenti idraulici (in alta pressione) tra collettore-pompa e collettore-elettroiniettori sono effettuati tramite tubazioni in acciaio aventi diametro interno 2 mm e diametro esterno 6 mm.



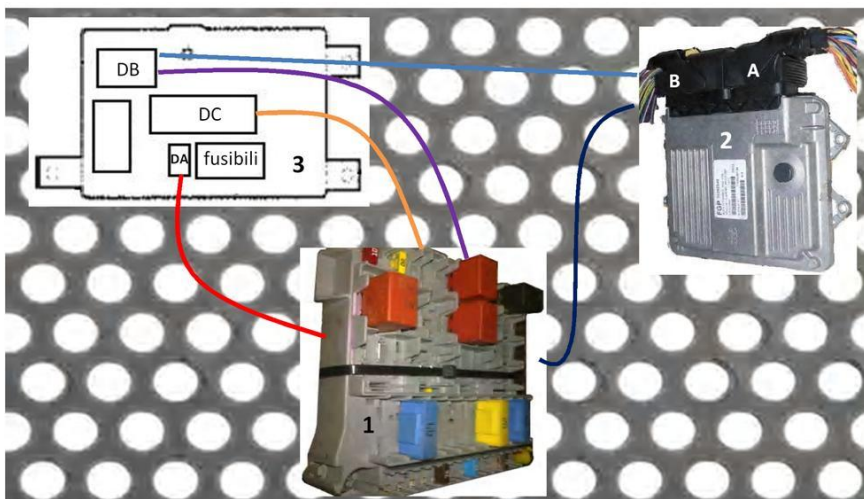
Capitolo 12

Schema elettrico 1.3 multijet

CARATTERIZZAZIONE SCHEMA ELETTRICO MOTORE FIAT 1.3 JTD MULTIJET

L'impianto elettrico del motore è stato fissato ad un pannello di lamiera forata e posto a fianco del motore. Esso si compone essenzialmente dei seguenti componenti:

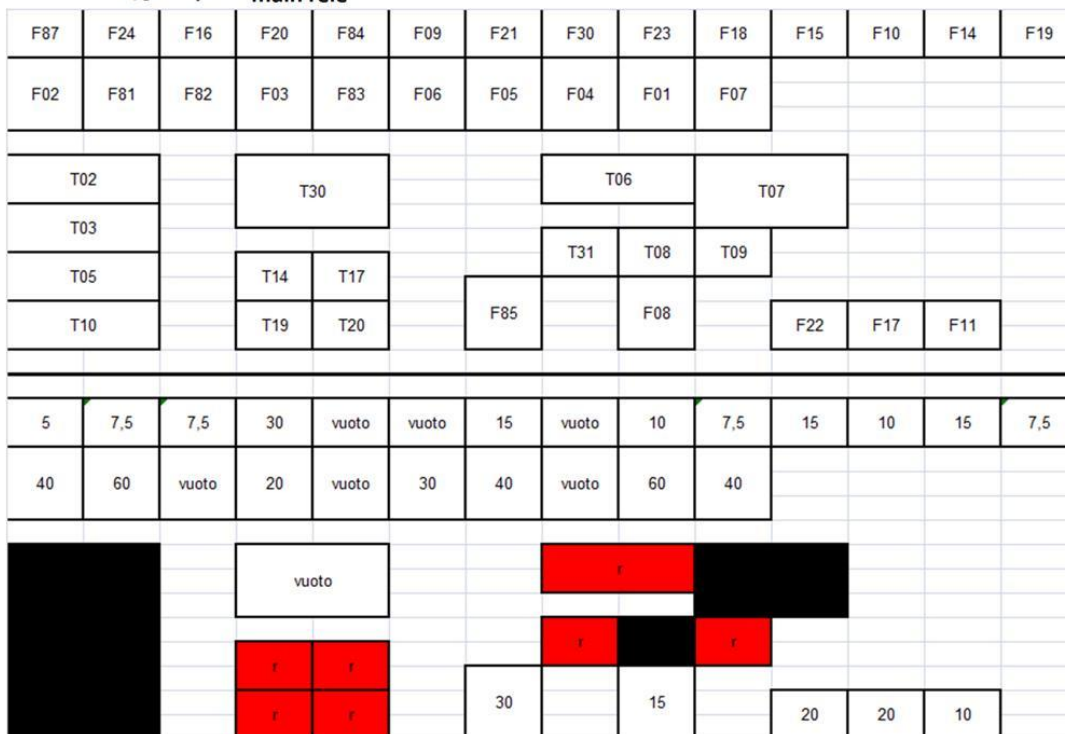
1. Scatola fusibili
2. Centralina, a cui vanno collegati i connettori A e B
3. Body Computer
4. (Sensori presenti sul motore)



La scatola fusibili è rappresentabile con lo schema di figura. Nella parte superiore sono riportati i codici dei fusibili (Fxx) e dei relè (Txx). Sotto ad esso vi è rappresentato lo stesso schema ma con i valori di amperaggio. Nella parte anteriore della scatola fusibili sono presenti 78 pin (uscite) sono state qui riportate le connessioni di ognuno di essi. Le 3 colonne a destra di ogni PIN sono riferite al componente al quale il PIN si collega (si nota come molte connessioni siano percorsi interni alla scatola fusibili stessa e molte altre non siano collegate) con indicazione del suo codice, di una breve descrizione e del pin interno a tale componente. Per alcune connessioni è riportato il colore del filo corrispondente.

SCATOLA FUSIBILI B001

T9 → main relé



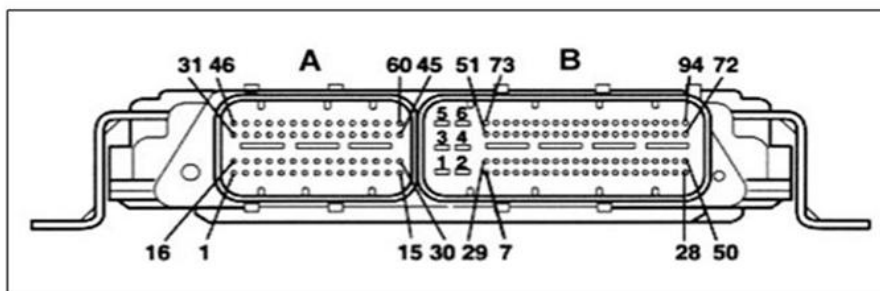
PIN SCATOLA FUSIBILI	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			pin componente	COLORE FILO
	codice	descrizione			
1	F	scatola fusibili		56	
2	F	scatola fusibili		34	
3	F	scatola fusibili		40	GIALLO-ROSSO
3	F	scatola fusibili		38	GIALLO-ROSSO
4					
5	F	scatola fusibili		43	
5	B	connettore B centralina		50	
6	C			25	
7	NC	non collegato			
8	F	scatola fusibili		73	VIOLA-GIALLO
9	NC	non collegato			
10	NC	non collegato			
11	F	scatola fusibili		69	BLU
12	B	connettore B centralina		88	
12	spia				
12	F	scatola fusibili		51	
13	spie				
13	C	connettore lato veicolo		32	

14	K059	sensore stato carica batteria	1	
15	NC	non collegato		
16	H001	commutatore d'accensione		arancio
17	A001	batteria		verde rosso
18	DA	body computer connettore A	1	
19	C	connettore lato veicolo	1	ROSSO-GIALLO
20	NC	non collegato		
21	F	scatola fusibili	30	
22	H001	commutatore d'accensione		rosso verde
22	spia			
22	F	scatola fusibili	48	
23	NC	non collegato		
24	M015	centralina preriscaldamento candelette	3	
25	F	scatola fusibili	52	
25				
26	N011	motorino elettroventola		caratterizzare pin
27	B	connettore B centralina	10	
28	B	connettore B centralina	74	
29	N011	motorino elettroventola		caratterizzare pin
30	F	scatola fusibili	21	
31	NC	non collegato		
32	NC	non collegato		
33	NC	non collegato		
34	F	scatola fusibili	2	
35	L920		4	
35				
36	K105	sensore depressione servofreno	1	
37	DB	body computer connettore B	22	
38	F	scatola fusibili	3	
39				
40	F	scatola fusibili	3	
41				
42	B	connettore B centralina	33	
43	F	scatola fusibili	5	
44	DB	body computer connettore B	4	
45	K105	sensore depressione servofreno	1	
45				
46	C010	massa anteriore sinistra		
47	DC	body computer connettore C	21	
48	F	scatola fusibili	22	
48	H001	commutatore d'accensione		
49	H001	commutatore d'accensione		
49	F	scatola fusibili	65	
50	DB	body computer connettore B	2	
51	F	scatola fusibili	12	
52	F	scatola fusibili	25	VERDE-ARANCIO
53	T	scatola fusibili	33	GRIGIO - ROSSO
54	C010	massa anteriore sinistra		NERO
55	DC	body computer connettore C	21	
56	F	scatola fusibili	1	

57	S018	Elettrovalvola inserimento compressore condi	1	
58	K105	sensore depressione servofreno	1	
59	B	connettore B centralina	30	
60	K041	debimetro	1	
60	L103	comando attuatore scambiatore EGR	2	
60	L036	comando VGT		
60	O007	resistenza riscaldamento vapori olio		
60	K040	sonda lambda	6	
60	B	connettore B centralina	29	
61	NC	non collegato		
62	B	connettore B centralina	3	
62	B	connettore B centralina	5	
62	B	connettore B centralina	6	
63	L901		1	BIANCO-VERDE
63	L901		2	BIANCO-VERDE
64	R010	giunto di diagnosi multiplo	27	GRIGIO
65	F	scatola fusibili	49	
65	H001	commutatore d'accensione		
66	B	connettore B centralina	28	
66	A020	motorino d'avviamento		
66	M192	stabilizzatore di tensione		
67	C010	massa		
68	B	connettore B centralina	72	
69	F	scatola fusibili	11	
70				
71	DB	body computer connettore B	6	
72	B	connettore B centralina	30	
72	K105	sensore depressione servofreno	1	
73	F	scatola fusibili	8	
74	N040	elettropompa comb.le e misuratore di livello		
75	B	connettore B centralina	94	
76	C010	massa		
77				
78	NC	non collegato		

La centralina ECU, mostrata in figura, ha 2 porte per i connettori A e B. Negli schemi sottostanti sono riportate le connessioni dei pin dei 2 connettori A e B. tali pin si connettono a sensori presenti sul motore, identificati da un codice di cui una tabella presente in seguito ne esplica il significato.

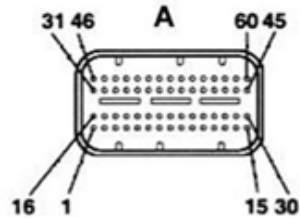
I connettori A e B si inseriscono nella centralina motore



SENSORI SUL MOTORE

CODICE	DESCRIZIONE COMPONENTE
K041	Portata aria e temperatura
K206	Posizione attuatore orientamento palette della turbina
N075	Posizione della valvola a farfalla
K044	Sensore di
K083	Regolatore di pressione rail
N070	Connessione elettrica elettroiniettore
K047	Sensore angolo di camma
L030	Elettrovalvola E.G.R.
L103	Elettrovalvola comando attuatore mandata acqua a scambiatore di calore per EGR
K036	Termostato acqua
K046	Sensore di giri
N077	Regolatore di pressione pompa di alta
A040	Segnale elettrico candele
K030	Sensore pressione olio motore
S987	Pressione differenziale DPF
S017	Gas di scarico
S018	Elettrovalvola inserimento compressore condizionatore
A010	Connessione elettrica dell'alternatore.

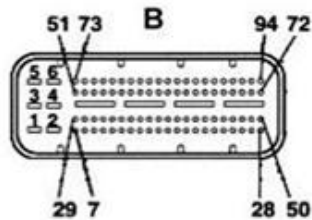
CONNETTORE A



PIN CONNETT A	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			COLORE FILO
	codice	descrizione	pin componente	
1	N070D	Positivo iniettore cilindro 4	1	
2	N070A	Positivo iniettore cilindro 1	1	
3	N077	Positivo regolatore pressione carburante	1	
4	NC	Non collegato		
5	NC	Non collegato		
6	K083	Positivo sensore pressione carburante	3	
7	K047	Positivo sensore di fase	3	
8	NC	Non collegato		
9	N075	Negativo sensore posizione farfalla	5	
10	K036	Negativo sensore temp. liquido refrigerante motore	2	
11	A010	Segnale D+ alternatore (cavo nero)		
12	NC	Non collegato		
13	K047	Segnale sensore di fase	2	
14	K046	Negativo sensore di giri	1	
15	N075	Negativo elettrovalvola corpo farfallato	1	
16	N070D	Negativo iniettore cilindro 4	2	
17	N070A	Negativo iniettore cilindro 1	2	
18	NC	Non collegato		
19	N077	Negativo regolatore pressione carburante	2	
20	K083	Negativo sensore pressione carburante	1	
21	L030	Positivo sensore elettrovalvola EGR	3	
22	N075	Positivo sensore posizione farfalla	4	
23	K041	Negativo sensore portata aria	2	
24	L030	Negativo sensore elettrovalvola EGR	2	
25	K044	Negativo sensore pressione e temperatura aria	1	
26	NC	Non collegato		
27	NC	Non collegato		
28	K041	Segnale sensore portata aria	4	
29	K046	Positivo sensore di giri	2	
30	N075	Positivo elettrovalvola corpo farfallato	3	
31	N070C	Positivo iniettore cilindro 3	1	
32	N070B	Positivo iniettore cilindro 2	1	

33	NC	Non collegato		
34	NC	Non collegato		
35	NC	Non collegato		
36	K044	Positivo sensore pressione e temperatura aria	3	
37	K206	Positivo sensore posizione attuatore VGT	3	
38	K206	Negativo sensore posizione attuatore VGT	1	
39	K036	Segnale sensore temp. liquido refrigerante motore	1	
40	NC	Non collegato		
41	K206	Segnale sensore posizione attuatore VGT	2	
42	K083	Segnale sensore pressione carburante	2	
43	L030	Segnale sensore elettrovalvola EGR	1	
44	K041	Segnale sensore temperatura aria debimetro	3	
45	L030	Negativo elettrovalvola EGR	6	
46	N070C	Negativo iniettore cilindro 3	2	
47	N070D	Negativo iniettore cilindro 2	2	
48	NC	Non collegato		
49	L103	Valvola di by-pass raffreddamento EGR	1	
50	NC	Non collegato		
51	NC	Non collegato		
52	NC	Non collegato		
53	K047	Negativo sensore di fase	1	
54	NC	Non collegato		
55	K044	Segnale sensore pressione e temperatura aria	4	
56	N075	Segnale sensore posizione farfalla	6	
57	K030	Segnale sensore pressione olio motore	1	
58	K044	Segnale temp. sensore pressione e temperatura	2	
59	NC	Non collegato		
60	L030	Positivo elettrovalvola EGR	4	

CONNETTORE B



PIN CONNETT B	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			COLORE FILO
	codice	descrizione	pin componente	
1	C040	massa di potenza centralina		NERO
2	C040	massa di potenza centralina		NERO
3	A001	alimentazione 12V centralina		BLU-ROSSO
4	C040	massa di potenza centralina		NERO
5	A001	alimentazione 12V centralina		BLU-ROSSO
6	A001	alimentazione 12V centralina		BLU-ROSSO
7	NC	non collegato		
8	E050	quadro strumenti	18	BIANCO-VIOLA
9	NC	non collegato		
10	F	teleruttore elettroventola (alta velocità)	27	GIALLO-VERDE
11	NC	non collegato		
12	K055	positivo potenziometro 1 pedale acceleratore	2	GIALLO-BLU
13	K055	positivo potenziometro 2 pedale acceleratore	1	ROSSO-BLU
14	L987	positivo sensore pressione differenziale DPF	1	VERDE-BLU
15	NC	non collegato		
16	NC	non collegato		
17	NC	non collegato		
18	NC	non collegato		
19	M015	centralina preriscaldamento candele	4	BIANCO-GRIGIO
20	NC	non collegato		
21	K214	segnale sensore posizione folle (ove previsto)		BIANCO-ARANCIO
22	NC	non collegato		
23	I031	interruttore pedale frizione (NC)	3	MARRONE-NERO
24	NC	non collegato		
25	NC	non collegato		
26	K101	segnale presenza acqua nel filtro gasolio	1	BIANCO-VIOLA
27	NC	non collegato		
28	A020	segnale avviamento motore	1	GRIGIO-MARRONE
28	F	segnale avviamento motore	66	GRIGIO-MARRONE
28	M192	segnale avviamento motore		GRIGIO-MARRONE
29	L036	positivo elettrovalvola VGT		BLU-VERDE
30	F	teleruttore compressore condizionatore	59	GIALLO-BLU
31	NC	non collegato		
32	M015	centralina preriscaldamento candele	5	MARRONE-BIANCO
33	F	teleruttore sistema controllo motore	42	NERO-BIANCO
34	K214	positivo sensore posizione folle (ove previsto)		BLU-ARANCIO

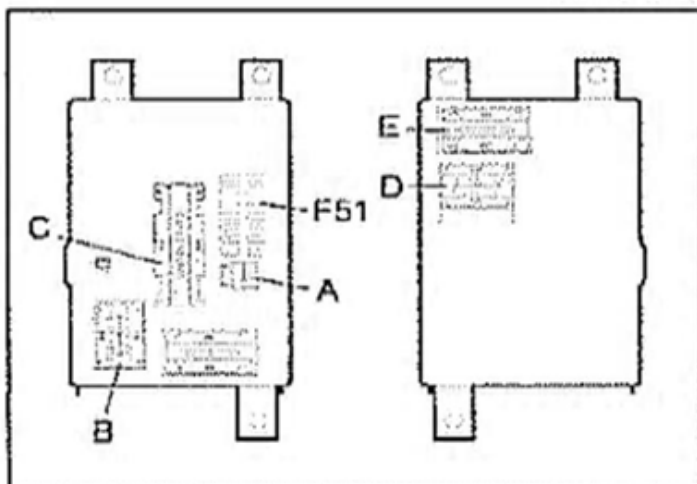
35	K120	positivo sensore pressione lineare		BLU-GRIGIO
36	NC	non collegato		
37	M015	centralina preriscaldamento candele	1	NERO-GIALLO
38	NC	non collegato		
39	NC	non collegato		
40	K055	negativo pista 2 potenz. Pedale accel.	5	VIOLA-NERO
41	K120	negativo sensore pressione lineare		ROSSO-NERO
42	K055	negativo potenziometro 1 pedale accel.	3	VERDE-NERO
43	L987	negativo sensore pressione differenziale DPF	2	BIANCO-NERO
44	NC	non collegato		
45	K214	negativo sensore posizione folle (ove previsto)		ARANCIO-NERO
46	I020	interruttore luce retromarcia		GIALLO-BIANCO
47	NC	non collegato		
48	NC	non collegato		
49	NC	non collegato		
50	F	alimentazione diretta da batteria	43	ROSSO-NERO
50	F	non collegato	5	
51	L036	negativo elettrovalvola VGT		VIOLA-ARANCIO
52	NC	non collegato		
53	NC	non collegato		
54	S017	sensore temperatura gas di scarico		VERDE-GIALLO
55	NC	non collegato		
56	K101	negativo sensore temperatura gasolio	1	VIOLA-GRIGIO
57	S017	segnale sensore temp gas di scarico		VIOLA-GRIGIO
58	NC	non collegato		
59	I031	interruttore pedale frizione (NA)	2	VIOLA-ROSSO
60	L987	segnale pressione differenziale DPF	3	VIOLA-NERO
61	K055	segnale pista 2 potenziometro pedale accel.	6	GRIGIO-ROSSO
62	NC	non collegato		
63	NC	non collegato		
64	K040	sonda lambda		ARANCIO-MARRONE
65	K040	sonda lambda		GIALLO-GRIGIO
66	NC	non collegato		
67	NC	non collegato		
68	NC	non collegato		
69	C	linea C CAN H	27	VERDE
70	C	linea C CAN L	23	MARRONE
71	NC	non collegato		
72	F	teleruttore inibizione avviamento motore	68	ARANCIO-GRIGIO
73	K040	sonda lambda (negativo riscaldamento)		GIALLO-MARRONE
74	F	teleruttore elettroventola (bassa velocità)	28	GIALLO-NERO
75	NC	non collegato		
76	NC	non collegato		
77	NC	non collegato		
78	NC	non collegato		
79	NC	non collegato		
80	K101	segnale sensore temperatura gasolio	2	NERO-GRIGIO
81	K120	segnale sensore pressione lineare		GRIGIO-MARRONE
82	K055	segnale pista 1 potenziometro pedale accel.	4	VERDE-GRIGIO
83	DB	segnale interruttore luci stop	27	BIANCO-VERDE

83	E2021	segnale interruttore luci stop		BIANCO-VERDE
83	I030	segnale interruttore luci stop		BIANCO-VERDE
84	NC	non collegato		
85	K105	sensore digitale depressione servofreno		BIANCO-MARRONE
86	K040	sonda lambda		VERDE-MARRONE
87	K040	sonda lambda		BIANCO-BLU
88	F	fusibile F16 (15/54 da commutatore avviam.)	12	ARANCIO-NERO
89	NC	non collegato		
90	NC	non collegato		
91	NC	non collegato		
92	NC	non collegato		
93	NC	non collegato		
94	F	teleruttore pompa combustibile	75	VERDE-BIANCO

Come per la scatola fusibili ho riportato uno schema delle connessioni dei pin relative al Body Computer. In questo ci sono 6 porte per i connettori A, B, C, D, E, F. Le tabelle si riferiscono ai PIN di tali connettori con indicata la destinazione con un codice ed una breve descrizione. Non avevo molte informazioni a riguardo, essendo per la maggior parte elementi presenti in vettura. Molti in ogni caso non erano collegati.

BODY COMPUTER M001

M001



connettore DA body computer					
PIN CONNETT DA	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			pin componente	COLORE FILO
	codice	descrizione			
1	F	scatola fusibili		18	ROSSO

connettore DB body computer					
PIN CONNETT DB	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			pin componente	COLORE FILO
	codice	descrizione			
1	NC	non collegato			
2	F	scatola fusibili		50	MARRON-ARANC
3					NERO-ROSSO
4	F	scatola fusibili		44	VIOLA-BIANCO
5	NC	non collegato			
6	F	scatola fusibili		71	MARRONE-BLU
7	NC	non collegato			
8					NERO-BLU
9					NERO-BLU
10	L920			2	BIANCO-BLU
11					BIANCO-BLU
12					GIALLO
13	NC	non collegato			
14					ROSSO-GRIGIO
15					GIALLO-NERO

16	NC	non collegato		
17	NC	non collegato		
18	NC	non collegato		
19	NC	non collegato		
20	NC	non collegato		
21	NC	non collegato		
22	F		37	ARANCIO-VIOLA
23	NC	non collegato		
24				VIOLA-BLU
25	NC	non collegato		
26				BIANCO-ARANCIO
27	I030	interruttore pedale freno	4	
27	B	connettore B centralina	83	
27	spia			
28	NC	non collegato		
29	L920		3	GIALLO-ROSSO
30	NC	non collegato		
31	NC	non collegato		
32	NC	non collegato		
33	L940		1	BIANCO-BLU
34	I030	interruttore pedale freno	3	
35	NC	non collegato		
36	NC	non collegato		
37				VERDE-VIOLA
38	NC	non collegato		
39	L925		3	BIANCO-GRIGIO
40	NC	non collegato		
41	NC	non collegato		
42	R010	connettore EOBD	9	BIANCO
43	R010	connettore EOBD	1	BLU
44	spia			
44	K058	sensore sterzo	3	VERDE
45	K058	sensore sterzo	1	MARRONE
45	spia			
46	NC	non collegato		
47	NC	non collegato		
48	NC	non collegato		
49				VERDE-MARRONE
50	NC	non collegato		
51				VIOLA-ROSSO
52				VIOLA-NERO
53				VERDE-ROSSO
54				BIANCO-VIOLA
55	NC	non collegato		
56	K059	sensore stato carica batteria	2	VERDE-GRIGIO
57	NC	non collegato		
58	NC	non collegato		
59	R010	connettore EOBD	5	MARRONE
60	R010	connettore EOBD	14	VERDE

connettore <i>DC</i> body computer				
PIN CONNETT DC	codice	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN		COLORE FILO
		descrizione	pin componente	
1	NC	non collegato		
2	L905		2	ROSSO-VERDE
3	L925		2	BIANCO
4	I020	interruttore luci retromarcia	2	ARANCIO-BLU
4	spia			
4	M015	centralina preriscaldamento candele	2	
4	K101	sens. temp. Comb.le e presenza acqua nel filtro	3	
4	K105	sensori depressione servofreno	1	
5	NC	non collegato		
6	NC	non collegato		
7	I030	interruttore pedale freno	1	BLU-ROSSO
8				BLU-VERDE
9	I031	interruttore pedale frizione	3	BLU-VERDE
10	L920		1	VERDE-GRIGIO
11	L920		6	GRIGIO-BLU
12	D006	giunzione anteriore posteriore		VERDE-ROSSO
13	D006	giunzione anteriore posteriore		BIANCO-VERDE
14	L925		1	ROSSO-BIANCO
15	L905		1	VERDE-ARANCIO
16				BIANCO-NERO
17	NC	non collegato		
18				ROSSO-NERO
19				BIANCO-NERO
20	NC	non collegato		
21	F	scatola fusibili	55	GRIGIO-BIANCO
21	F	scatola fusibili	47	GRIGIO-BIANCO
22				BIANCO-BLU
23	NC	non collegato		
24				VERDE-BLU
25	I030	interruttore pedale freno	2	VERDE-BLU
26				GRIGIO-BLU
27				GRIGIO-NERO
28	R010	connettore EOBD	16	ROSSO-VERDE
29	NC	non collegato		
30				VIOLA
31				VERDE-ARANCIO
32				BIANCO-ARANCIO
32				BIANCO-ARANCIO
32				BIANCO-ARANCIO

Connettore DD body computer				
PIN CONNETT DD	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			COLORE FILO
	codice	descrizione	pin componente	
1				tagliato
2				tagliato
3				tagliato
4	NC	non collegato		
5	NC	non collegato		
6	NC	non collegato		
7				tagliato
8	NC	non collegato		
9	NC	non collegato		
10	H90	gruppo comandi interruttori	3	tagliato
11				tagliato
12				tagliato
13	NC	non collegato		
14	NC	non collegato		
15	NC	non collegato		
16	P020	autoradio	3	tagliato
17	M060	centralina air-bag	1	tagliato
18	E050	quadro strumenti	5	tagliato
19	NC			
20	M060	centralina air-bag	2	tagliato
21	E050	quadro strumenti	6	tagliato
22	P020	autoradio	1	tagliato
23	NC	non collegato		
24	NC	non collegato		
25	NC	non collegato		
26	NC	non collegato		
27	NC	non collegato		
28	NC	non collegato		
29	NC	non collegato		
30	NC	non collegato		
31	NC	non collegato		
32	NC	non collegato		
33	NC	non collegato		
34				tagliato
35				tagliato
36				tagliato
37				tagliato
38				tagliato
39	NC	non collegato		
40				tagliato
41				tagliato
42	M192	stabilizzatore di tensione	3	VERDE-GIALLOtagl.
43	H90	gruppo comandi interruttori	1	tagliato
44	NC	non collegato		
45				tagliato

46	NC	non collegato		
47	NC	non collegato		
48	NC	non collegato		
49	H90	gruppo comandi interruttori	11	tagliato
50				
51				
52				
53	NC	non collegato		
54				
55				
56				
57	NC	non collegato		
58	NC	non collegato		
59				
60	NC	non collegato		

connettore <i>DE</i> body computer				
PIN CONNETT DE	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			COLORE FILO
	codice	descrizione	pin componente	
1	H001	commutatore d'accensione		GRIGIO - T64
2	NC	non collegato		
3				tagliato
4				tagliato
5	NC	non collegato		
6	NC	non collegato		
7	E050	quadro strumenti		tagliato, T65
8				tagliato
9	C015	massa plancia lato guida		NERO - T66
10	NC	non collegato		
11	H001	commutatore d'accensione		BLU - T67
12				tagliato
13	NC	non collegato		
14				tagliato
15				tagliato
16				tagliato
17				tagliato
18	NC	non collegato		
19	NC	non collegato		
20	NC	non collegato		

Connettore <i>DF</i> body computer				
PIN CONNETT DF	COMPONENTE A CUI SI COLLEGA IL PIN			COLORE FILO
	codice	descrizione	pin componente	
1				
2	NC	non collegato		
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11	NC	non collegato		
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18	NC	non collegato		
19				
20	NC	non collegato		
21	NC	non collegato		
22				
23				
24				
25	NC	non collegato		
26				
27				
28	NC	non collegato		
29	NC	non collegato		
30	NC	non collegato		
31				
32	NC	non collegato		
33	NC	non collegato		
34				
35	NC	non collegato		
36	NC	non collegato		
37	NC	non collegato		
38	NC	non collegato		
39				
40				
41	NC	non collegato		
42	NC	non collegato		
43	NC	non collegato		
44	NC	non collegato		
45				

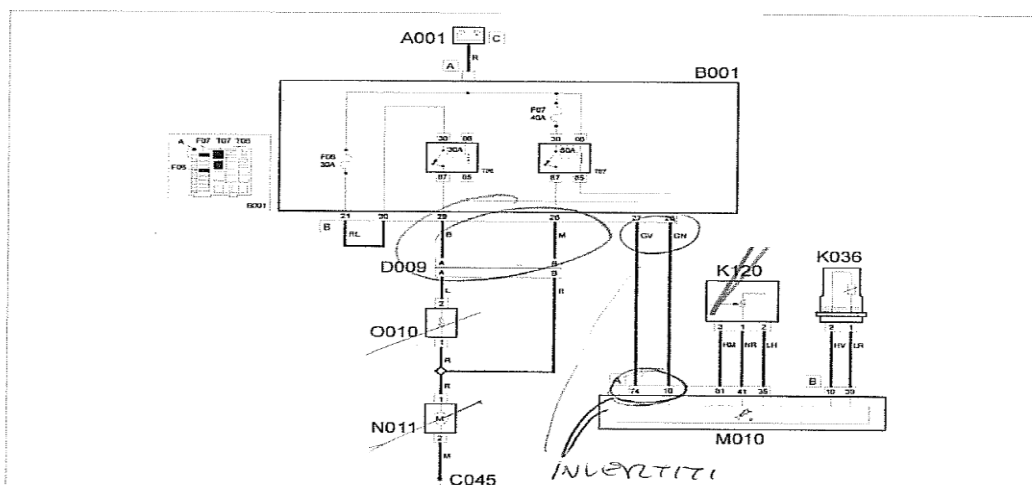
46				
47	NC	non collegato		
48				
49				
50	NC	non collegato		
51	NC	non collegato		
52	NC	non collegato		
53	NC	non collegato		
54	NC	non collegato		
55	NC	non collegato		
56				
57	NC	non collegato		
58	NC	non collegato		
59	NC	non collegato		
60				

Capitolo 13

Schemi elettrici principali motore fiat 1.3 jtd multijet

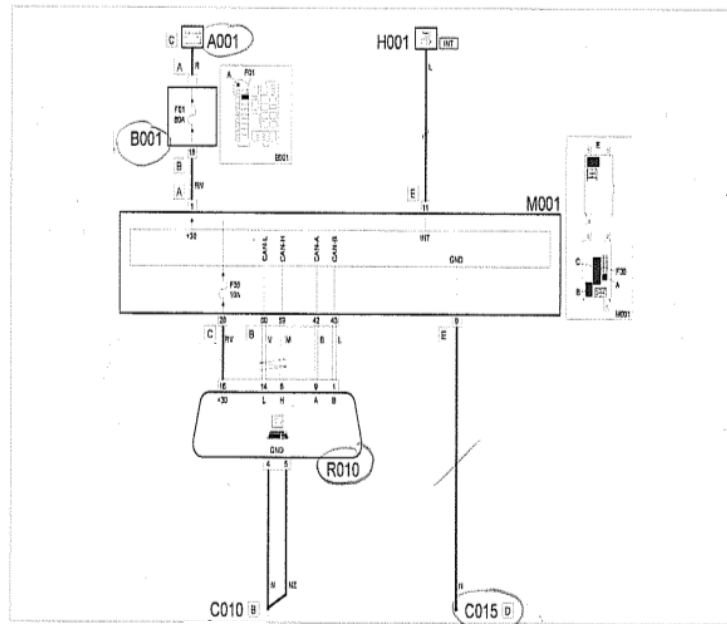
Nelle figure sottostanti vi sono le scansioni delle connessioni elettriche dei principali impianti della vettura. Per ogni schema sono riportate tutte le connessioni elettriche presenti fra i diversi componenti, indicati nelle singole legende, con le centraline ed il Body Computer

RAFFREDDAMENTO MOTORE - SCHEMA ELETTRICO



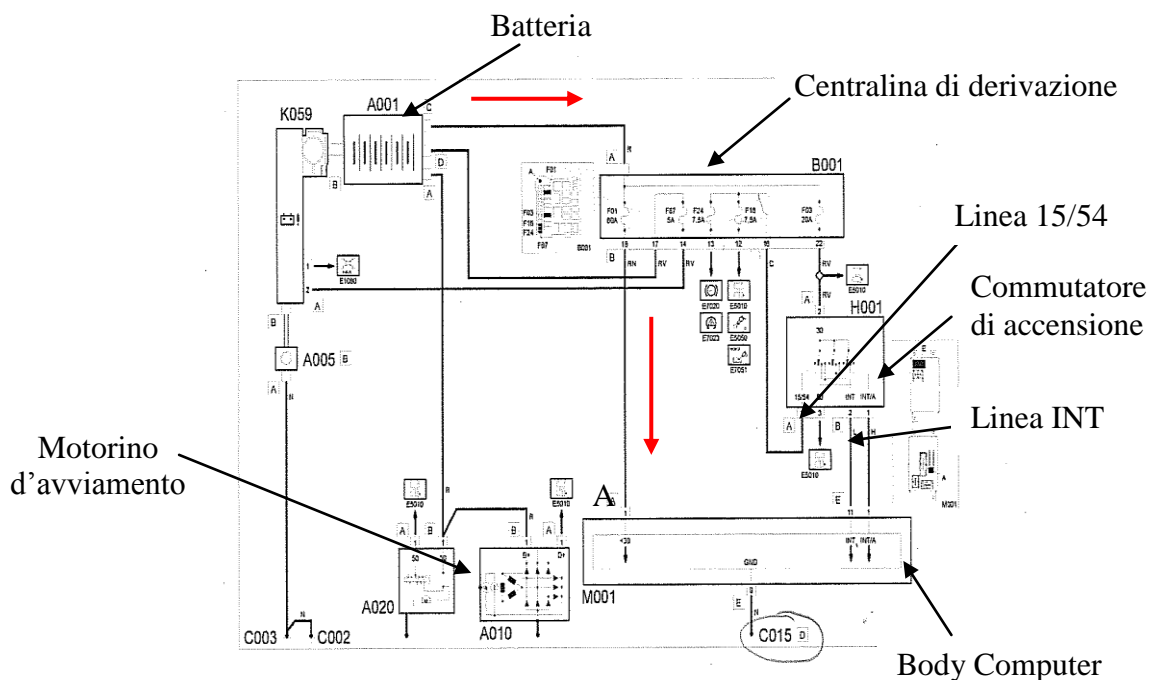
Codice componenti	Denominazione
A001	BATTERIA
B001	CENTRALINA DI DERIVAZIONE
C045	MASSA ELETTROVENTOLA
D009	GIUNZIONE ANTERIORE/RADIATORE
K036	SENSORE/TRASMETTITORE TEMPERATURA REFRIGERANTE MOTORE
K120	SENSORE LINEARE PER ELETTROVENTOLE
M010	CENTRALINA CONTROLLO MOTORE
N011	MOTORINO ELETTROVENTOLA
O010	RESISTENZA REGOLAZIONE ELETTROVENTOLA MOTORE - 1

CONNETTORE MULTIPLO DI DIAGNOSI - SCHEMA ELETTRICO



Codice componenti	Denominazione
A001	BATTERIA
B001	CENTRALINA DI DERIVAZIONE
C015	MASSA PLANCIA LATO GUIDA
H001	COMMUTATORE DI ACCENSIONE
M001	BODY COMPUTER
R010	GIUNTO DI DIAGNOSI MULTIPLO

ALIMENTAZIONE - SCHEMA ELETTRICO



Codice componenti	Denominazione
A001	BATTERIA
A005	MORSETTIERA DI DERIVAZIONE
A010	ALTERNATORE
A020	MOTORINO D'AVVIAMENTO
B001	CENTRALINA DI DERIVAZIONE
C002	MASSA BATTERIA SU MOTORE
C003	MASSA BATTERIA SU SCOCCA
C015	MASSA PLANCIA LATO GUIDA
H001	COMMUTATORE DI ACCENSIONE
K059	SENSORE STATO CARICA BATTERIA
M001	BODY COMPUTER

La figura mostra lo schema dell'alimentazione elettrica della vettura. Sono evidenziati la batteria, la centralina, il motorino di avviamento, il commutatore di accensione ed il Body Computer.

La corrente, proveniente dalla batteria A001, giunge alla centralina di derivazione B001 e, attraverso la linea protetta dal fusibile F01, arriva al connettore A del Body-computer.

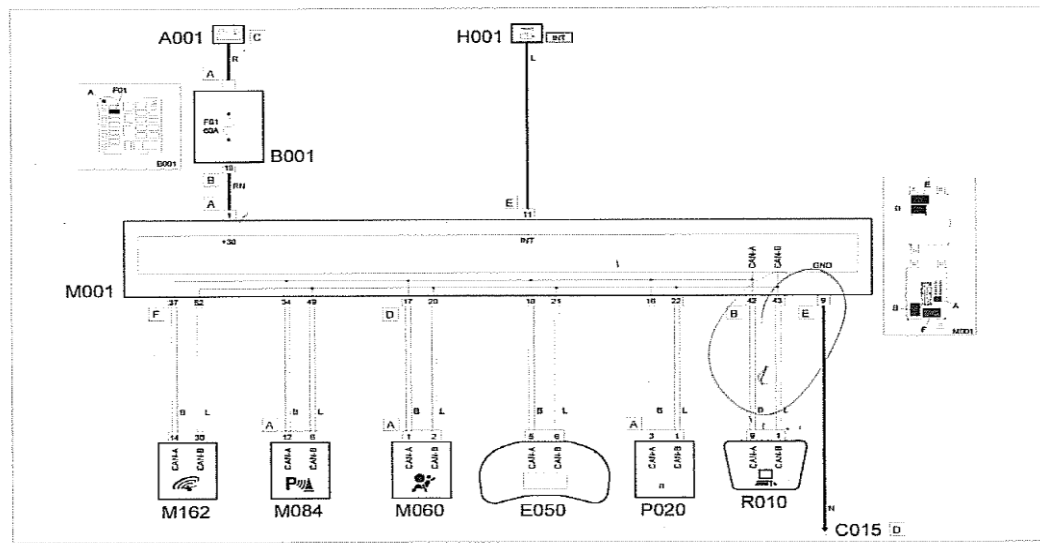
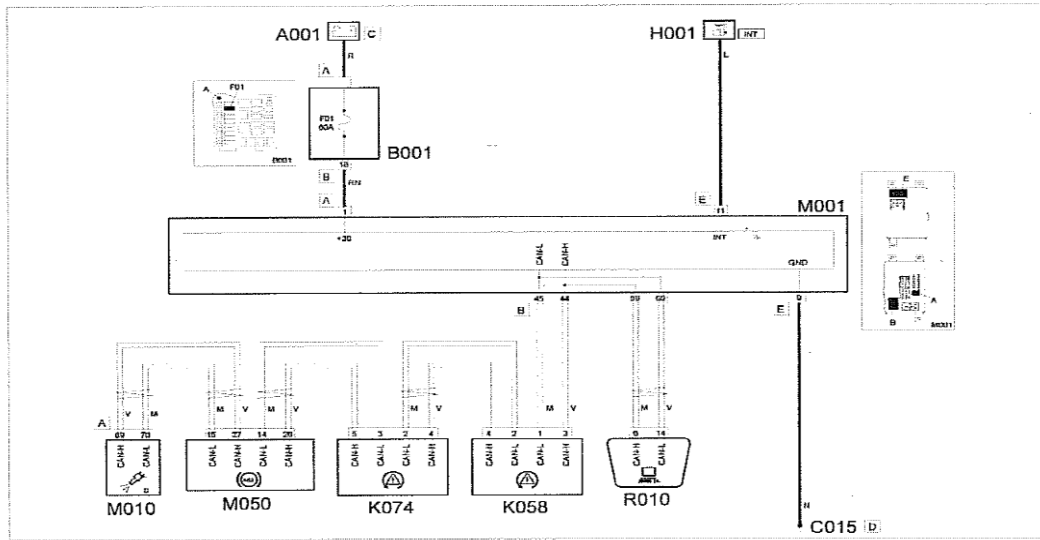
Le principali linee di alimentazione sono protette da "MAXIFUSE", contenuti nella centralina di derivazione lato motore.

Alcuni circuiti sono alimentati continuamente, anche con veicolo fermo e chiave disinserita, essendo collegati direttamente alla batteria.

Altri circuiti vengono alimentati ruotando la chiave del commutatore di accensione nelle varie posizioni:

- Inserendo e ruotando la chiave (rappresentata dal commutatore di accensione H001) fino al primo scatto, la si porta in posizione MAR alimentando numerosi circuiti, che vengono infatti definiti “sotto chiave” (linea “INT” e “15/54”): il segnale sottochiave “15/54” è inviato alla centralina di derivazione vano motore B001 al pin 10 del connettore B, mentre il segnale “INT” è inviato al Body Computer M001 al pin 11 del connettore E
- Il secondo scatto - posizione AVV - alimenta invece il motorino d'avviamento (linea “50”), scollegando alcuni circuiti (quelli che assorbono maggior potenza) garantendo così il massimo afflusso di corrente al motorino di avviamento (linea “INT/A”)

LINEE DI COLLEGAMENTO CAN - SCHEMA ELETTRICO

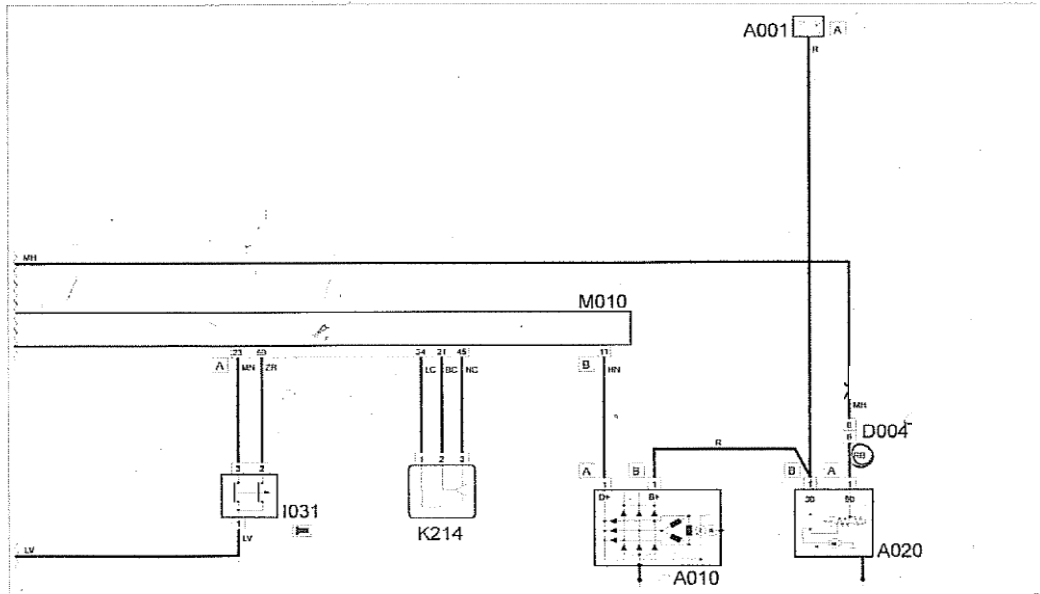
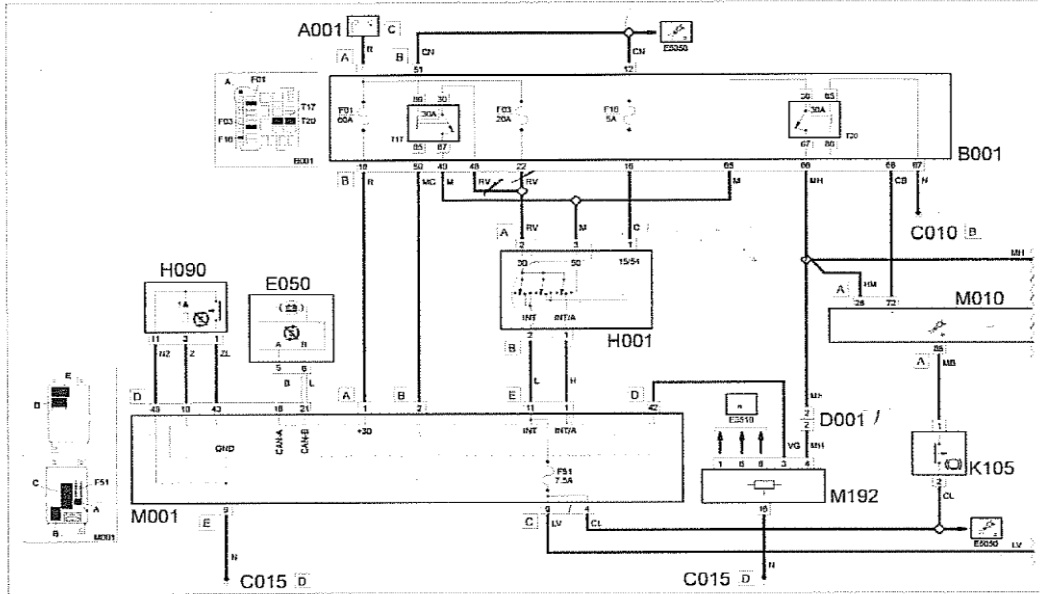


Codice componenti	Denominazione
A001	BATTERIA
B001	CENTRALINA DI DERIVAZIONE
C015	MASSA PLANCIA LATO GUIDA
E050	QUADRO STRUMENTI
H001	COMMUTATORE DI ACCENSIONE
K058	SENSORE STERZO
K074	SENSORE DI IMBARDATA (VDC)
M001	BODY COMPUTER
M010	CENTRALINA CONTROLLO MOTORE
M050	CENTRALINA ABS
M060	CENTRALINA AIR BAG
M084	CENTRALINA SENSORE DI PARCHEGGIO
M162	CENTRALINA BLUETOOTH
P020	AUTORADIO
R010	GIUNTO DI DIAGNOSI MULTIPLO

L'architettura di collegamenti elettrici a "rete CAN" (Controller Area Network) è una soluzione software ed hardware che ha lo scopo di gestire in maniera sempre più efficiente le risorse presenti nel veicolo.

La comunicazione ha luogo tra numerose centraline di controllo e di conseguenza il numero di segnali da gestire è molto elevato. Per questo motivo i segnali "viaggiano" su Bus seriali (doppino) di tipo CAN dove un filo è associato al livello alto (H) l'altro ad un livello basso (L).

AVVIAMENTO E RICARICA - SCHEMA ELETTRICO



Codice componenti	Denominazione
A001	BATTERIA
A010	ALTERNATORE
A020	MOTORINO D'AVVIAMENTO
B001	CENTRALINA DI DERIVAZIONE
C002	MASSA BATTERIA SU MOTORE
C003	MASSA BATTERIA SU SCOCCA
C010	MASSA ANTERIORE SINISTRA
C015	MASSA PLANCIA LATO GUIDA
D001	GIUNZIONE ANTERIORE/PLANCIA
D004	GIUNZIONE ANTERIORE/MOTORE
E050	QUADRO STRUMENTI
H001	COMMUTATORE DI ACCENSIONE
H090	GRUPPO COMANDI INTERRUTTORI
I031	INTERRUPTORE PEDALE FRIZIONE
K105	SENSORE DEPRESSIONE SEVOFRENO
K214	SENSORE POSIZIONE FOLLE SU LEVA MARCE
M001	BODY COMPUTER
M010	CENTRALINA CONTROLLO MOTORE
M192	STABILIZZATORE DI TENSIONE

Il circuito di avviamento e ricarica è composto dalla batteria, dal motorino di avviamento e dall'alternatore.

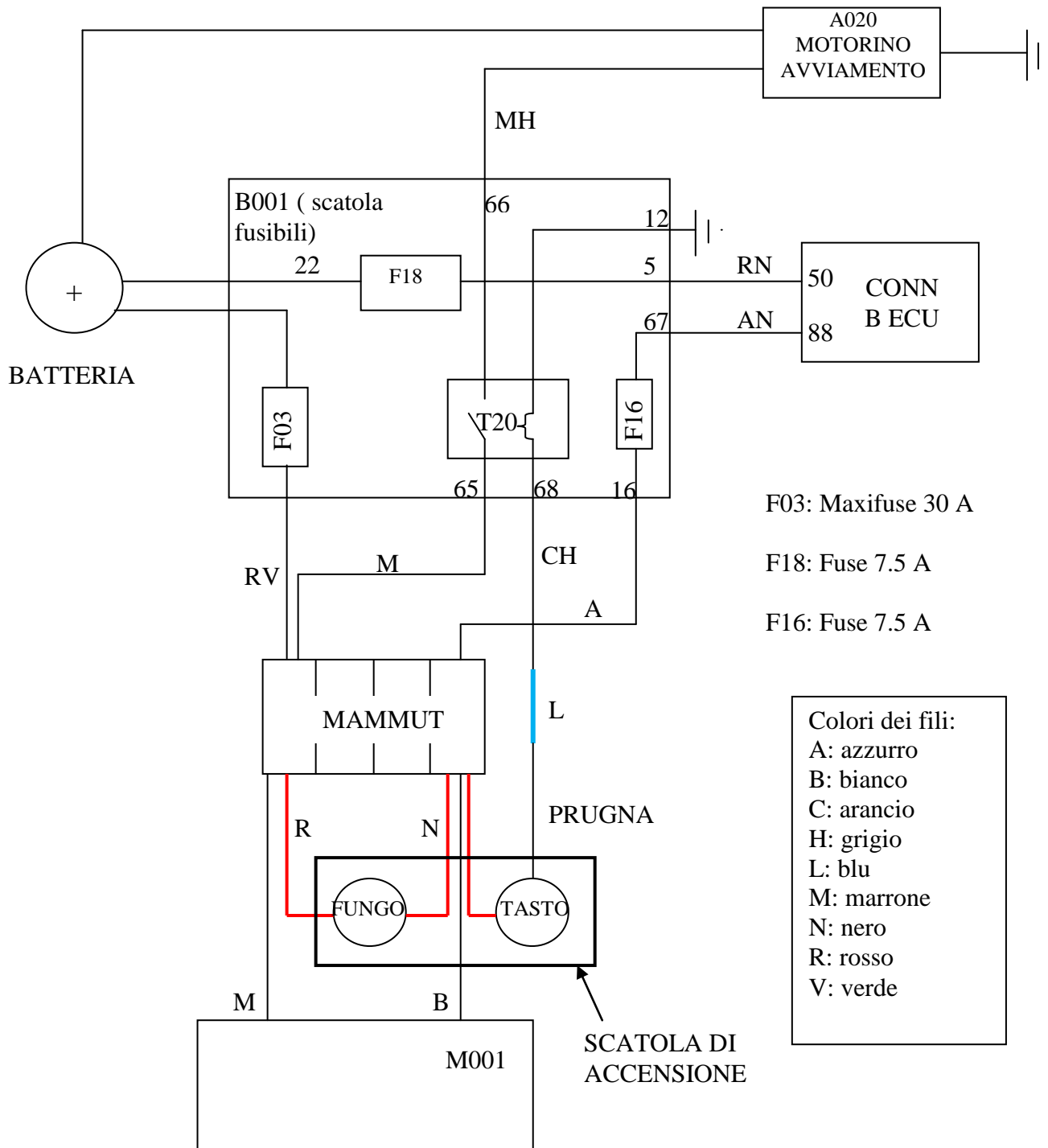
Il Body Computer M001 – connettore A – è alimentato direttamente dalla batteria dalla linea protetta dal maxifuse F01 della centralina vano motore B001.

Il commutatore di accensione è alimentato anch'esso dal cavo rosso batteria scatola fusibili ed è protetto da F03 (tagliato, T32).

In posizione MAR sono alimentati numerosi circuiti “sotto-chiave” (linee “INT” e “15/54”): il segnale sottochiave 15/54 è inviato alla scatola fusibili al pin 16, mentre il segnale INT è inviato al body-computer al pin 11 connettore E (tagliato).

Quando la chiave è posta in posizione di AVV (+50) la centralina M010 (segnale dal pin 72 del connettore A) chiude il teleruttore T20, comandando così l'alimentazione dell'avvolgimento dell'elettromagnete - pin 50 - del motorino d'avviamento A020.

Schema connessioni avviamento motore al banco



Nello schema ho riprodotto l'alimentazione del motore con i circuiti che sono stati prodotti in sala prove. L'alimentazione è data da un fungo che simula il primo scatto della chiave e da un tasto che ne simula il secondo scatto

Alimentazione diretta

La batteria fa arrivare un segnale di 12V direttamente al motorino di avviamento A020 ed al pin 50 del connettore B di centralina attraverso il fusibile F18.

L'alimentazione diretta giunge anche al mammut, tramite il fusibile F03, con il cavo Rosso-Verde. Da esso il segnale giunge al pin 65 della scatola fusibili con il cavo marrone e da qui al teleruttore T20, che tuttavia, essendo aperto (il fungo è abbassato), non consente l'alimentazione del motorino di avviamento.

Alimentazione sotto chiave

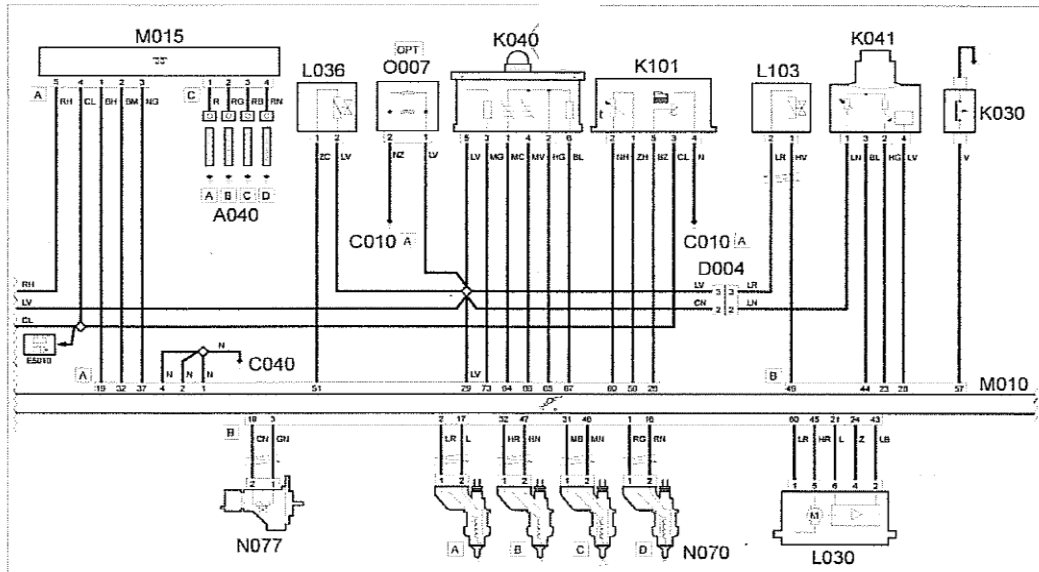
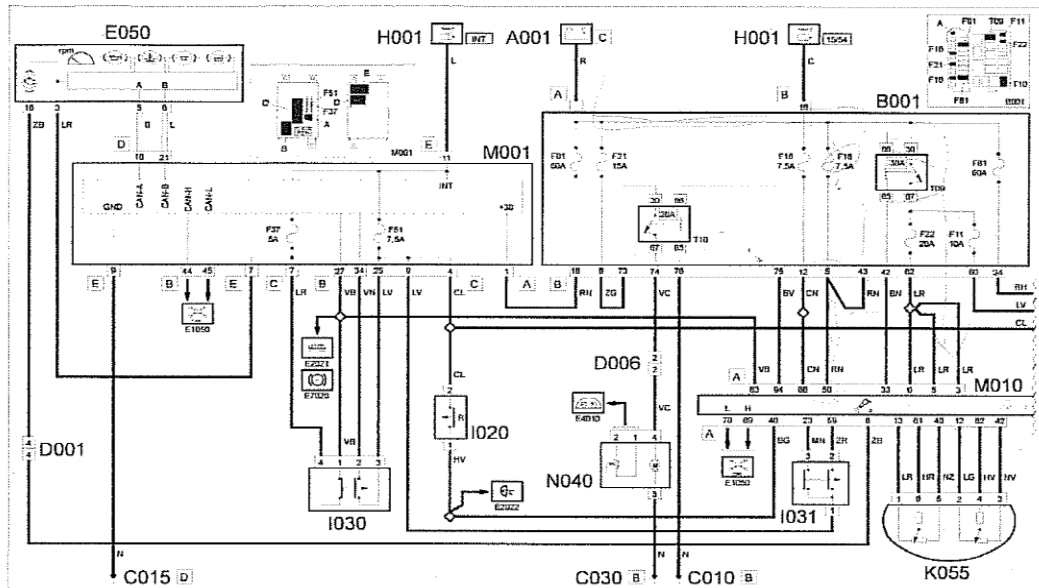
Con il fungo alzato giunge l'alimentazione al pin 88 del connettore B attraverso il fusibile F16

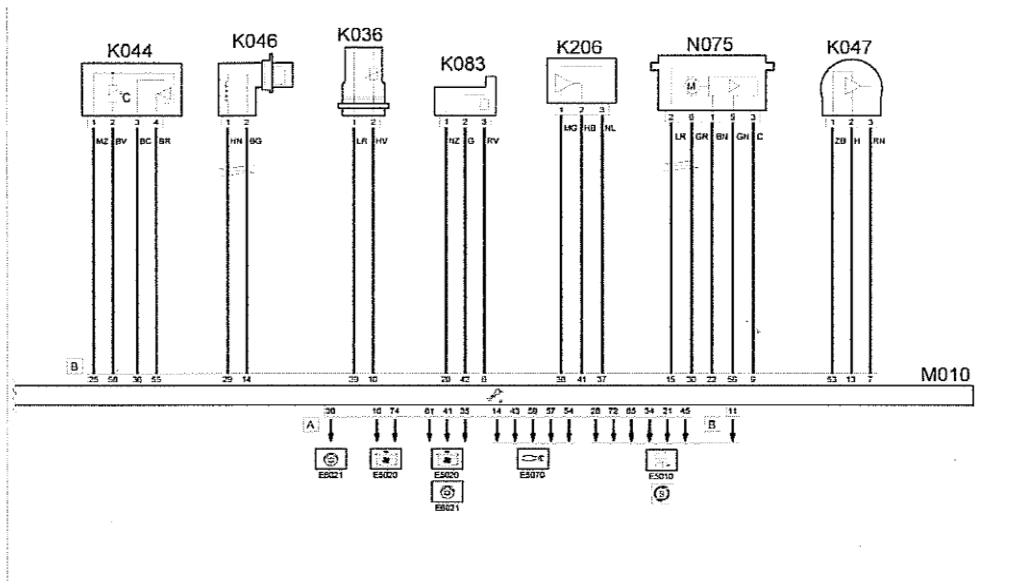
Segnale avviamento

Premendo il tasto di avviamento, un segnale uscente da esso alimenta il teleruttore T20 che chiude la linea di alimentazione del motorino di avviamento con il segnale uscente dal pin 66 della scatola fusibili (cavo marrone-grigio). Tale segnale di avviamento esce dalla scatola di accensione con un cavo color prugna ed arriva al cavo arancio-grigio tramite un cavo blu saldato ad essi.

Si consideri infine che l'alimentazione del motorino di avviamento è possibile solo con il fungo alzato. Se quest'ultimo non lo fosse infatti, non arriverebbe alimentazione al tasto che non potrebbe a sua volta chiudere il teleruttore T20 per la chiusura della linea di alimentazione.

GESTIONE ELETTRICA MOTORI DIESEL - SCHEMA ELETTRICO



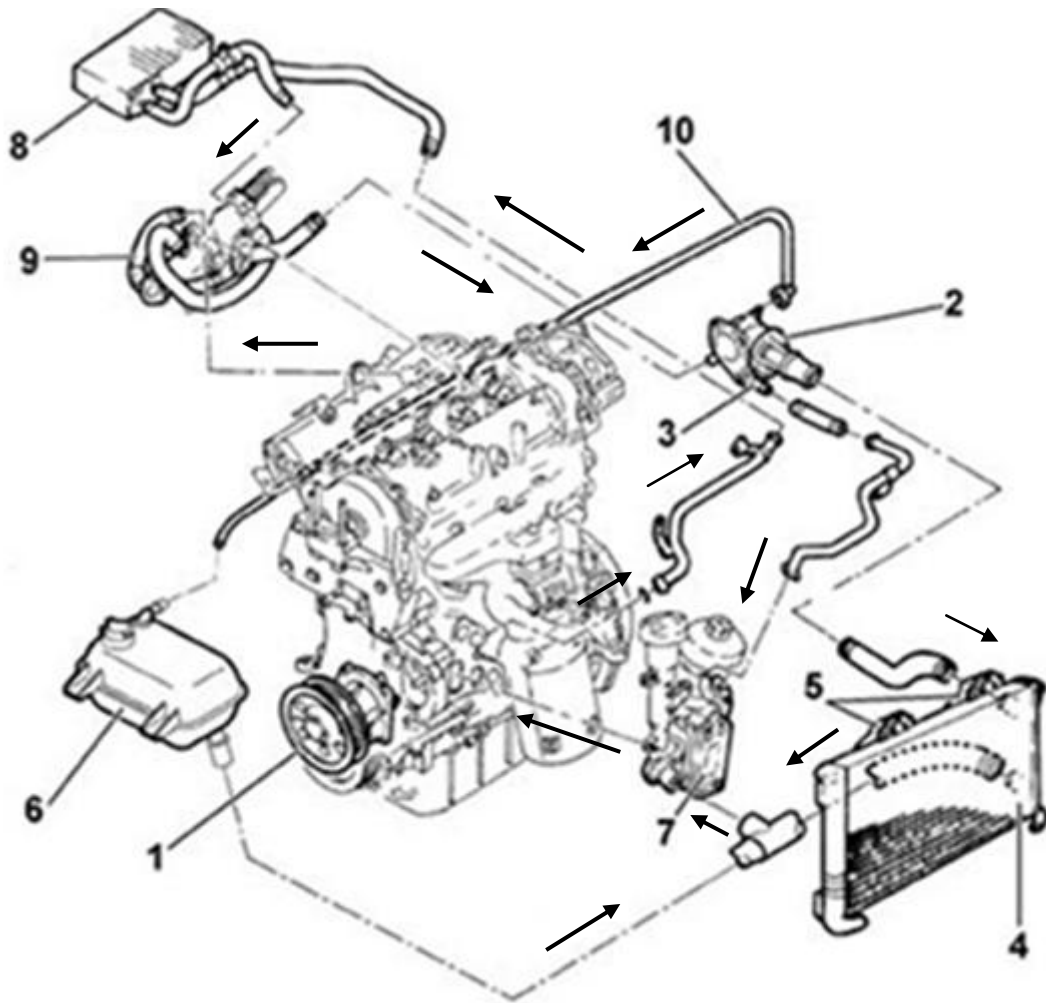


Codice componenti	Denominazione
A001	BATTERIA
A040	CANDELETTE DI PRERISCALDO
B001	CENTRALINA DI DERIVAZIONE
C010	MASSA ANTERIORE SINISTRA
C015	MASSA PLANCIA LATO GUIDA
C030	MASSA POSTERIORE SINISTRA
C040	MASSA SU MOTORE
D001	GIUNZIONE ANTERIORE/PLANCIA
D004	GIUNZIONE ANTERIORE/MOTORE (MOTORE)
D006	GIUNZIONE ANTERIORE/POSTERIORE
E050	QUADRO STRUMENTI
I020	INTERRUTTORE LUCI RETROMARCIA
I030	INTERRUTTORE PEDALE FRENO
I031	INTERRUTTORE PEDALE FRIZIONE
K030	SENSORE (INTERRUTTORE) PRESSIONE OLIO MOTORE (MOTORE)
K036	SENSORE/TRASMETTITORE TEMPERATURA REFRIGERANTE MOTORE (MOTORE)
K040	SONDA LAMBDA
K041	MISURATORE PORTATA ARIA (MOTORE)
K044	SENSORE PRESSIONE / TEMPERATURA ARIA (MOTORE)
K046	SENSORE DI GIRI (MOTORE)
K047	SENSORE DI FASE (MOTORE)
K055	POTENZIOMETRO PEDALE ACCELERATORE
K083	SENSORE PRESSIONE COMBUSTIBILE (MOTORE)

K101	SENSORE TEMPERATURA COMBUSTIBILE E PRESENZA ACQUA NEL FILTRO COMBUSTIBILE
K206	SENSORE POSIZIONE GEOMETRIA VARIABILE TURBINA (MOTORE)
L030	ELETTROVALVOLA EGR (MOTORE)
L036	ELETTROVALVOLA COMANDO GEOMETRIA VARIABILE TURBINA
L103	ELETTROVALVOLA COMANDO ATTUATORE MANDATA ACQUA A SCAMBIATORE DI CALORE PER EGR (MOTORE)
M001	BODY COMPUTER
M010	CENTRALINA CONTROLLO MOTORE
M015	CENTRALINA PRERISCALDO CANDELETTE
N040	ELETTROPOMPA COMBUSTIBILE E MISURATORE DI LIVELLO
N070	ELETTROINIETTORE
N075	ATTUATORE CORPO FARFALLATO INTEGRATO (MOTORE)
N077	REGOLATORE DI PRESSIONE COMBUSTIBILE (MOTORE)
O007	RESISTENZA RISCALDAMENTO VAPORI OLIO

Capitolo 14

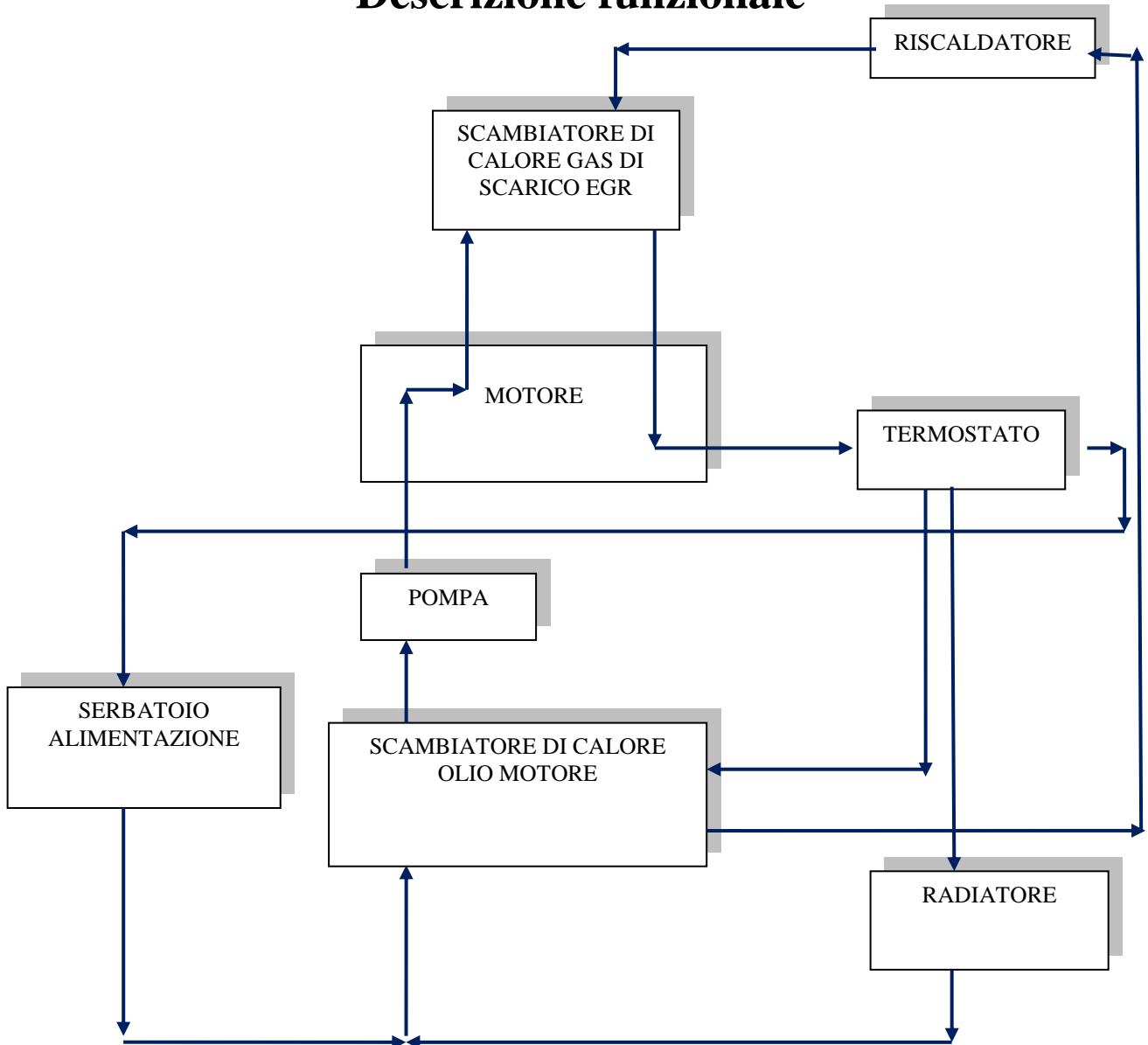
Descrizione impianto raffreddamento motore FIAT 1.3 JTD multijet



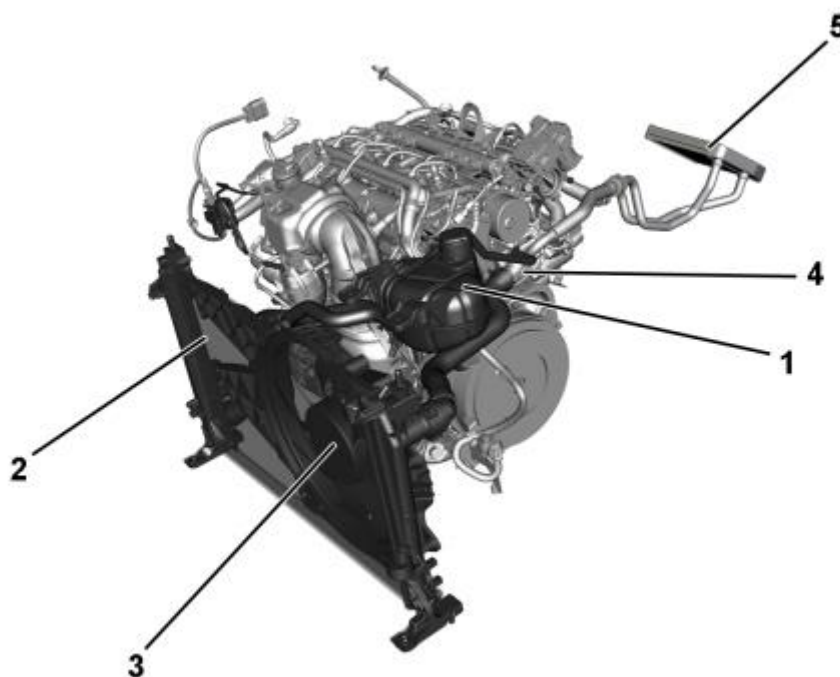
Pompa acqua

1. Sensore di temperatura liquido di raffreddamento motore
2. Termostato
3. Radiatore
4. Elettroventilatore
5. Serbatoio alimentazione
6. Scambiatore di calore olio motore
7. Radiatore riscaldamento interno vettura
8. Scambiatore di calore gas di scarico E.G.R.
9. Tubazione ricircolo acqua

Descrizione funzionale

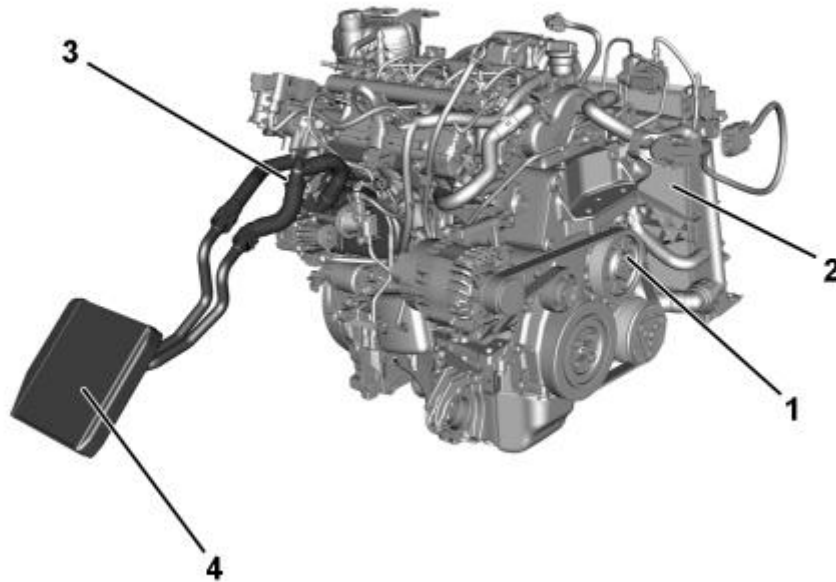


Vista anteriore



1. Serbatoio alimentazione impianto
2. Radiatore
3. Elettroventilatore
4. Termostato
5. Riscaldatore

Vista posteriore



1. Pompa acqua
2. Radiatore
3. Scambiatore di calore gas di scarico per E.G.R.
4. Riscaldatore

Pompa acqua

E' del tipo centrifuga a palette con corpo pompa in lega di alluminio e girante in resina fenolica.

Fissata al basamento motore è azionata direttamente tramite la cinghia dei servizi.

Termostato

Montato sul lato posteriore della testa cilindri, con la funzione di mantenere il motore alla temperatura ottimale:

- con temperatura $< 80 \pm 2$ °C la valvola termostatica (chiusa) devia il liquido direttamente verso al pompa
- con temperatura $> 80 \pm 2$ °C la valvola termostatica (aperta) convoglia il liquido di raffreddamento verso il radiatore.

Sul termostato è montato il sensore di temperatura acqua motore collegato alla centralina di iniezione ed al quadro di bordo.

Impianto ricircolo gas di scarico

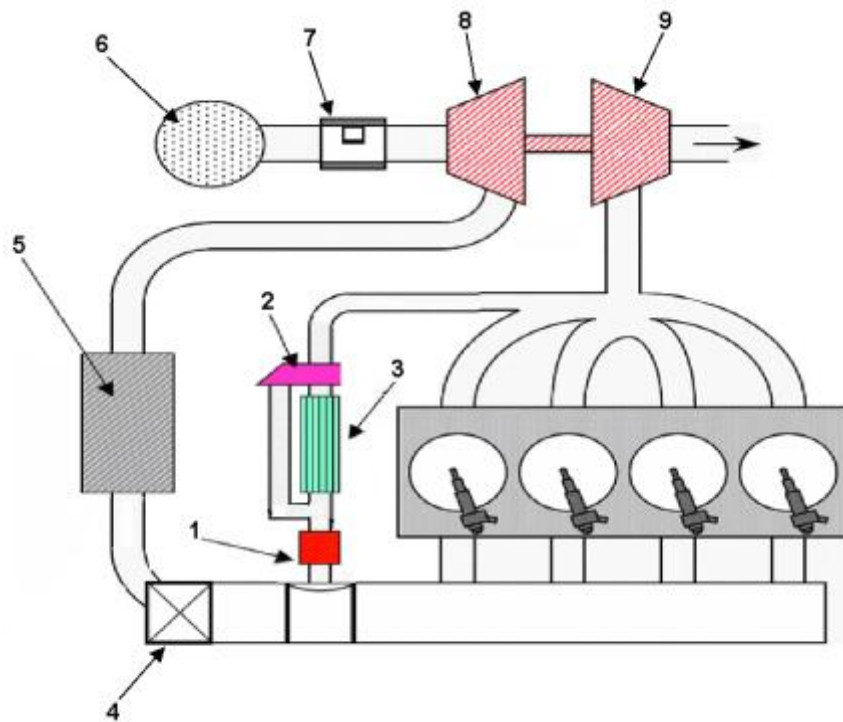
Questo sistema permette di inviare all'aspirazione una parte (5 ÷ 15%) dei gas di scarico, in determinate condizioni di funzionamento.

Così facendo si abbassa il picco di temperatura nella camera di combustione, contenendo la formazione degli ossidi di azoto (NO_x).

L'elettrovalvola E.G.R. comandata dalla centralina di iniezione svolge la funzione di reimmettere nell'aspirazione del motore parte dei gas di scarico prelevati dal collettore di scarico.

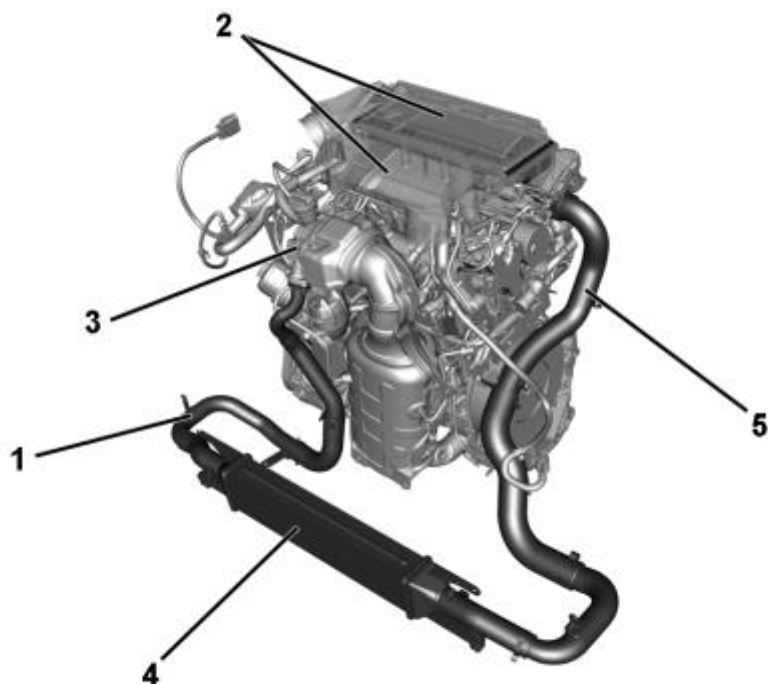
Uno scambiatore di calore (3) permette il parziale raffreddamento dei gas di scarico abbassando ulteriormente la temperatura della camera di combustione. Convogliando i gas combusti in uno scambiatore di calore, se ne abbassa la temperatura permettendo così di avere una maggiore portata massica ed una minore temperatura della carica con evidenti benefici per quanto riguarda il contenimento delle emissioni di NO_x.

Schema del sistema ricircolo e.g.r. sul motore



1. Valvola E.G.R.
2. Valvola di by-pass E.G.R.
3. Scambiatore di calore E.G.R.
4. Corpo farfallato
5. Intercooler
6. Filtro aria
7. Debimetro
8. Compressore
9. Turbina

Circuito alimentazione aria motore



1. Tubazioni di mandata aria da turbo a scambiatore di calore
2. Filtro aria completo
3. Turbocompressore
4. Scambiatore di calore aria - aria (intercooler)
5. Tubazione rigida mandata aria in pressione al corpo farfallato

Capitolo 15

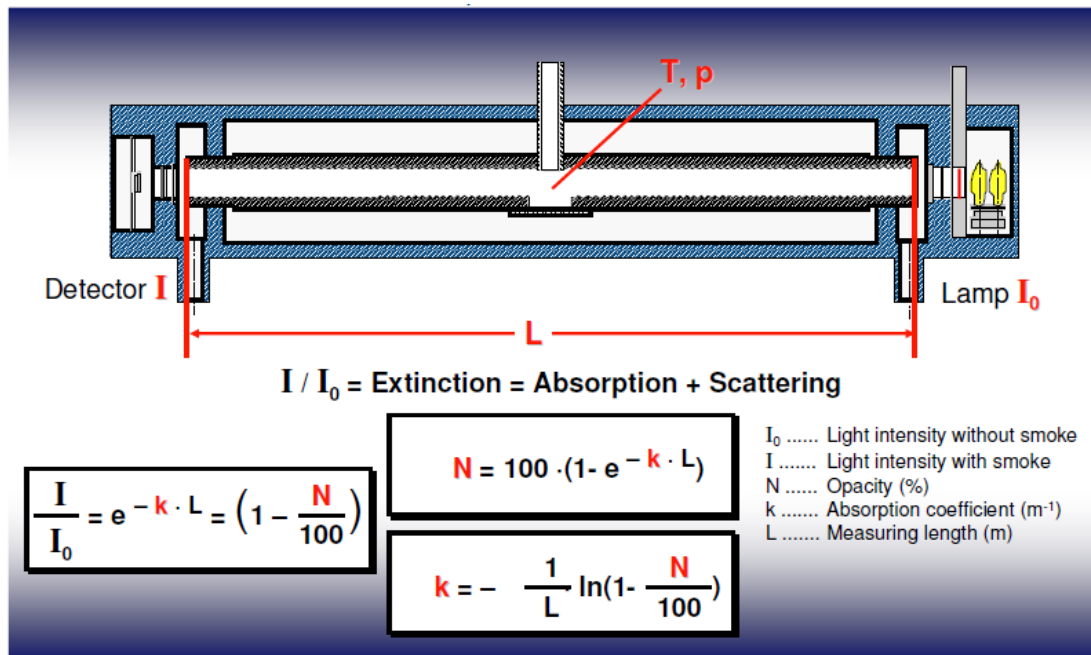
Opacimetro AVL439 [24,31]



Principio di misura

La propagazione di un raggio di luce in un mezzo produce una diminuzione della sua intensità. Nell'opacimetro la diminuzione dell'intensità della luce avviene mentre essa attraversa i gas di scarico, contenenti particolato. Secondo la legge di Beer-Lambert, la diminuzione di intensità di luce segue la:

$$I = I_0 \cdot e^{-kL}$$



Utilizzo

Per la sua accuratezza ed affidabilità può essere usato per test come il ECE R24 [34] o il ELR (European Load Response) [33] ma anche per R&D e nelle fasi di produzione.

Il regolamento ECE (Economic Commission for Europe) è simile alle direttive EU. ECE R24 è la normativa applicata alle emissioni dei gas di scarico dei motori a combustione interna per veicoli stradali.

Installazione

L'Opacimetro deve essere posto su una superficie piana e non deve essere collocato troppo vicino all'uscita dei gas di scarico, a causa dell'effetto del calore.

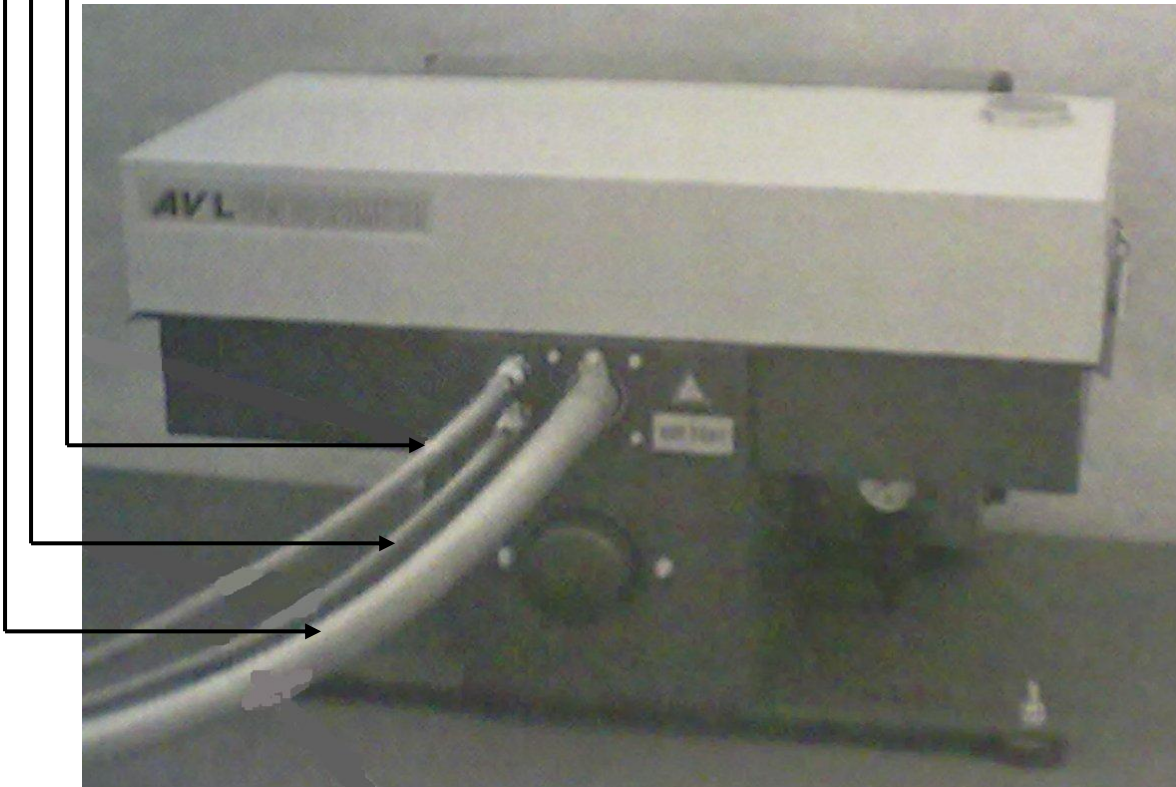
Connessione ai gas di scarico

Vi sono 3 connessioni nel pannello frontale:

Conditioning tube (prelievo del campione di gas da analizzare)

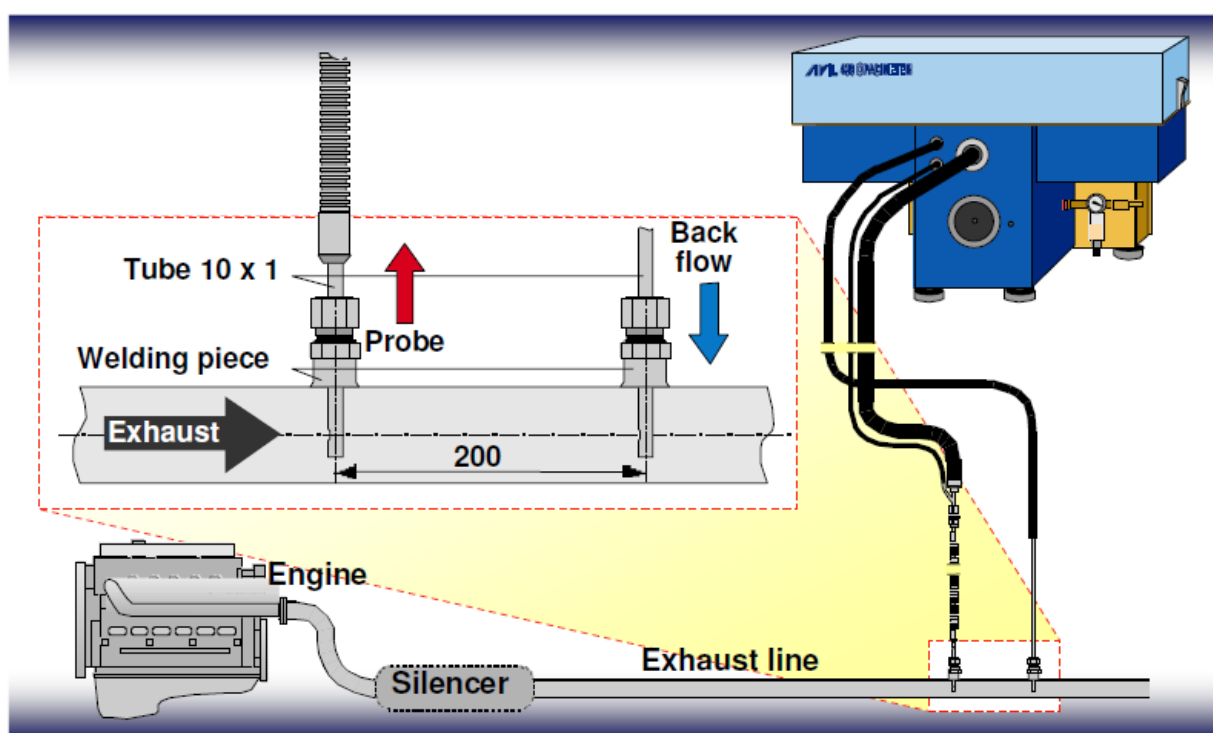
Zero air tube

Feed back tube (ritorno dei gas analizzati alla linea di scarico)



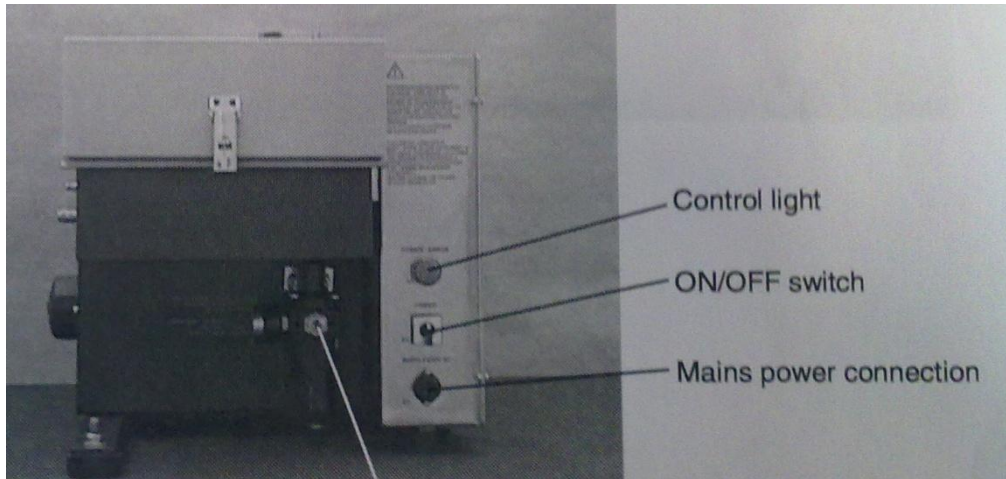
Si utilizzano allo scopo le tubazioni fornite con l'Opacimetro da AVL. Il gas è prelevato dallo scarico tramite il conditioning tube e dopo essere passato attraverso l'opacimetro per la misura, ritorna alla linea di scarico attraverso il feed back tube. Lo zero air tube (letteralmente aria filtrata che contenga meno di 0.1 ppm di idrocarburi), che si trova in parallelo al conditioning tube deve essere sempre connesso.

La posizione in cui collocare le due connessioni dei tubi alla condotta dei gas di scarico è indicata in figura. Lo zero air tube infatti si innesta nel conditioning tube, in tal modo dei tre tubi connessi all'opacimetro, solo due vanno ad innestarsi nel condotto di scarico:



L'Opacimetro necessita di aria compressa senza residui di olio ed acqua ad una pressione di 4÷10 bar. La massima portata di aria richiesta è di 180 l/min. Se questa non viene fornita, l'Opacimetro si spegne automaticamente.

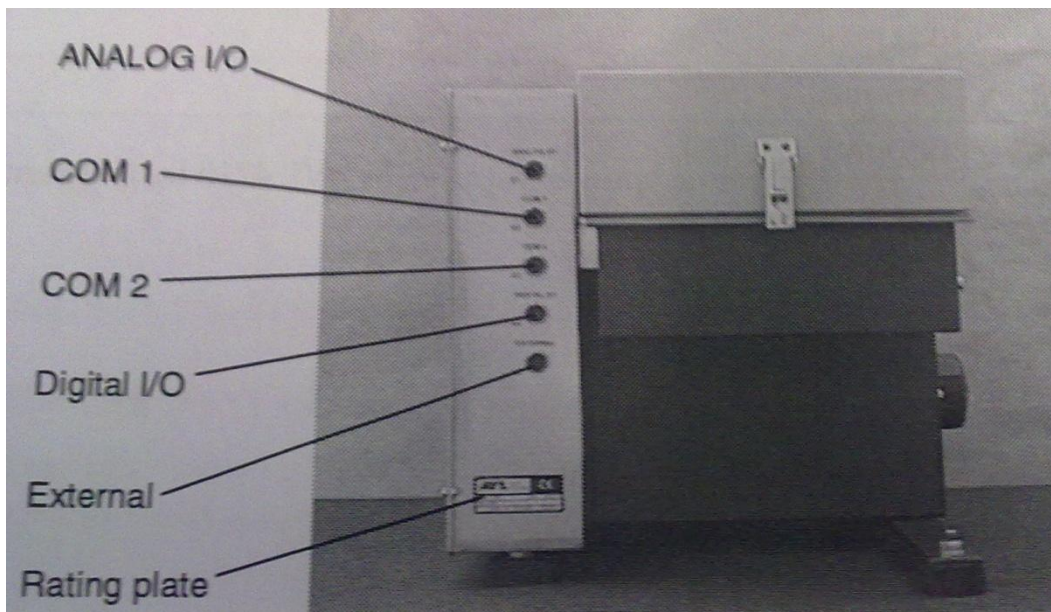
Il tubo di aria compressa va connesso all'opacimetro nella presa posta sul lato dello stesso.



ARIA COMPRESSA

Interfacce

Queste vengono usate per il controllo e per l'acquisizione dei dati. Possono essere usati un PC, un test bed host od il Controller AVL 4210. Qualunque sia la scelta, esse devono essere connessi alle porte COM1 e COM2. Si possono usare 2 dispositivi contemporaneamente. In sala prove il collegamento è stato effettuato all'Instrument Controller AVL4210.

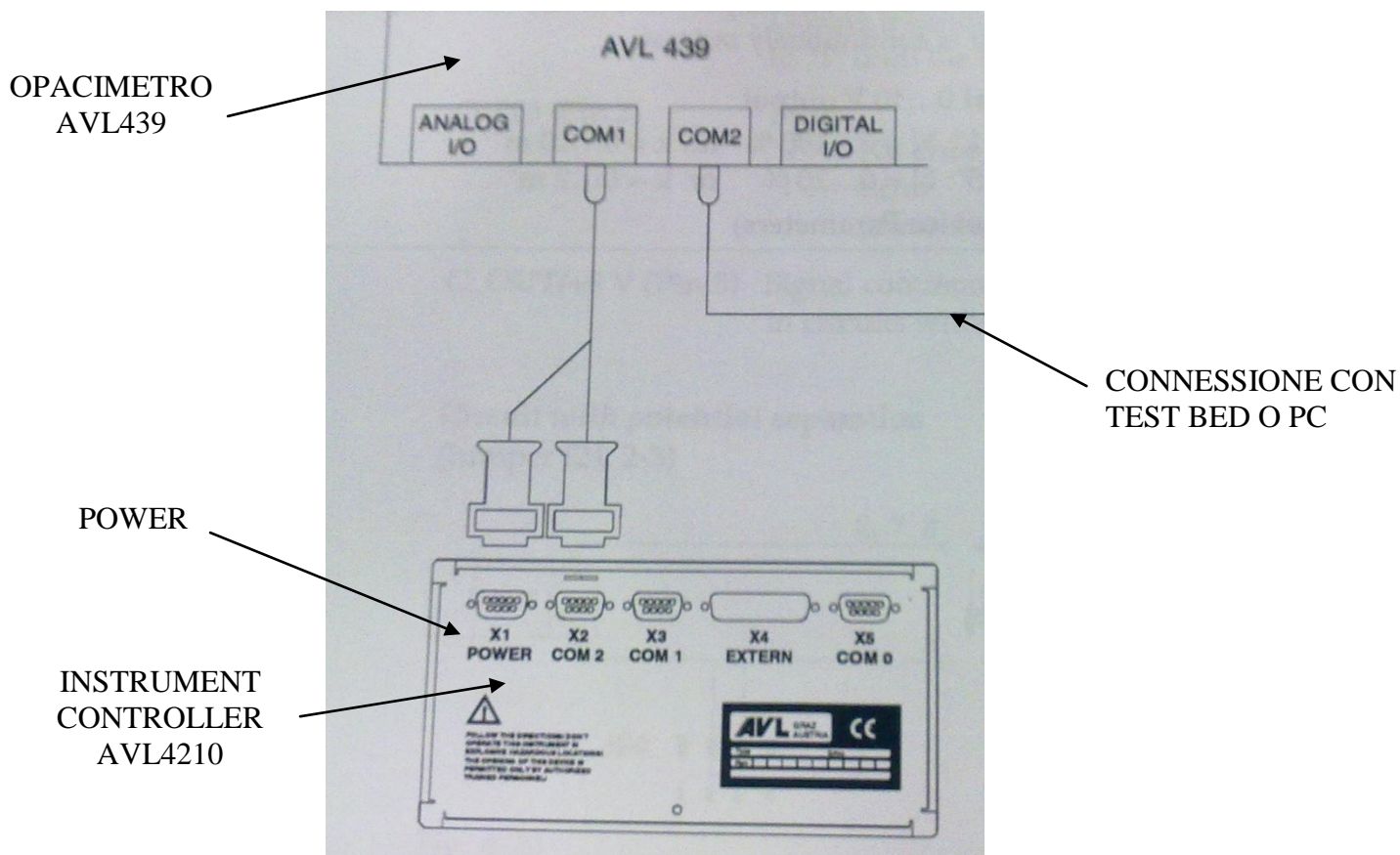


Valore misurato continuo analogico

Il valore continuo di misura può essere continuamente visualizzato all'output analogico di misura X1. La misura è nell'unità definita nei parametri di setting (N[%] o $k[m^{-1}]$)

Connessione del controller 4210

L'Instrument Controller si può collegare all'Opacimetro tramite le porte COM1 e COM2 come visualizzato in figura. Nell'AVL4210 deve invece essere usata la porta COM2.



Connessione al PC

Per controllare l'Opacimetro attraverso un personal computer, il modo migliore è attraverso i programmi VT100 Terminal [43] o VT100 Emulator [44], scaricabili gratuitamente via internet.

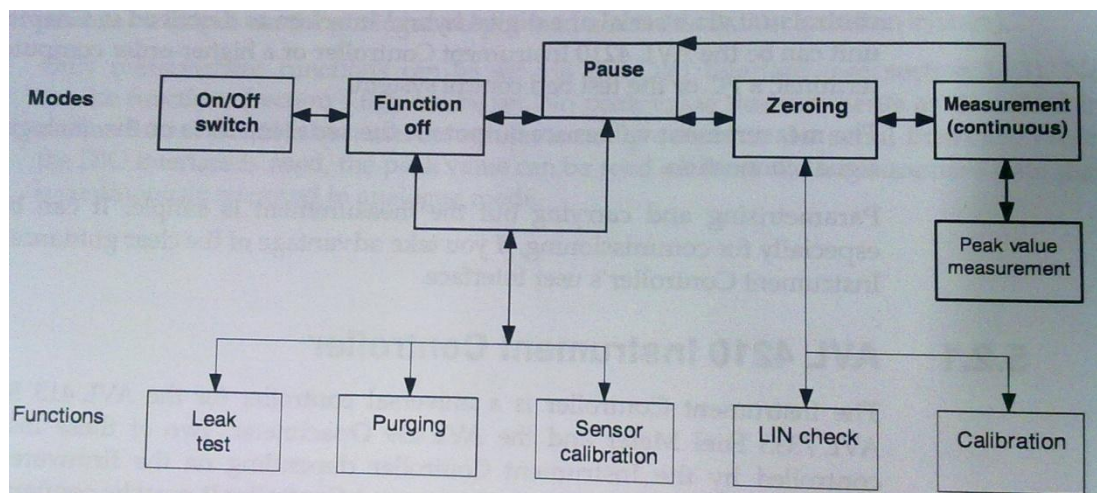
La struttura di controllo, attraverso l'interfaccia di comunicazione AK, ed i comandi sono descritti nel manuale dell'Opacimetro nel capitolo 7

La connessione dell'Opacimetro avviene in maniera analoga all'Instrument Controller AVL4210, attraverso le porte seriali COM1 o COM2.

Misurazione

Tutte le funzionalità possono essere richiamate con semplici comandi dall'AVL4210, la funzione di misura abitualmente richiesta è la misura standard o "continua".

Nel diagramma si vedono tutte le funzioni che possono essere richiamate, comprese la calibrazione ed i vari servizi.



Per poter misurare, dopo aver acceso lo strumento, è necessario attendere circa 20 minuti per il riscaldamento dello stesso. Solo così si otterranno valori attendibili.

Dopo essersi accertati che l'aria compressa sia collegata in modo adeguato si accende l'Opacimetro e l'unità di controllo. Si aspetta perché

l'Opacimetro raggiunga la stabilità termica fino a quando la scritta "Ready" compare sul display.

Per poter effettuare una misura, colleghiamo l'Opacimetro all'AVL 4210. Attraverso questo si controlla l'Opacimetro. Per attivare la funzione di misura, si preme F1 scegliendo poi "Continuous Measurement".

Bisogna quindi informare l'Opacimetro che deve essere controllato dall'AVL 4210. Quando "Ready" compare sul monitor, allora il sistema accetterà il comando di misura.

Zeroing

Dobbiamo eseguire questa procedura prima di poter effettuare una misura. Lo strumento ha solo una piccola deriva dallo zero ma questa procedura è necessaria per maggior precisione con bassa opacità. La si deve effettuare non solo all'accensione, ma anche periodicamente durante il funzionamento (ogni circa mezzora).

I parametri di misura, come ad esempio la scelta dell'algoritmo del filtro ed il valore di output (opacità N o coefficiente di assorbimento k), devono essere settati dallo zeroing, prima di effettuare le misure.

Anche il test di linearità e la calibrazione devono essere richiamate dallo stato "zeroing, ready".

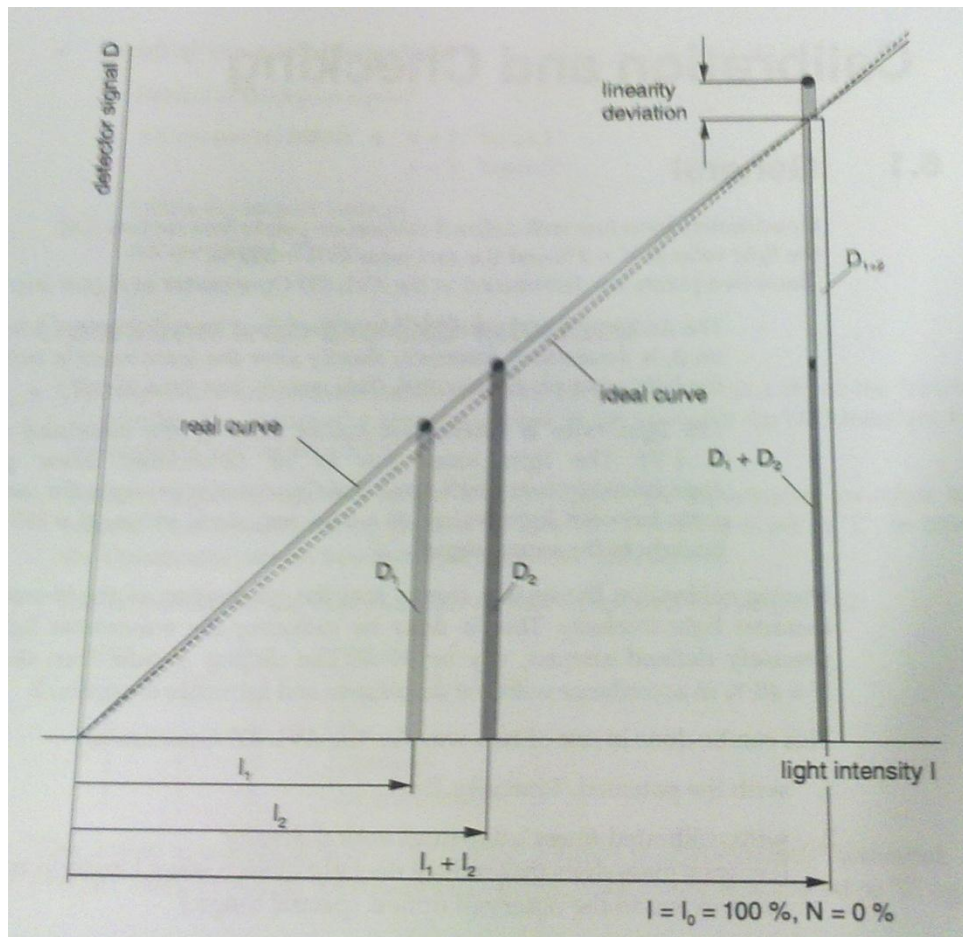
Si effettuano le prove di Linearità (pag. 6-1) e di Calibrazione (pag. 6-3) come spiegato nella guida. Selezionarle dal menu (premendo F1) confermandole poi con F6. Iniziare quindi le procedure con START (F4) quando le schermate corrispondenti compaiono.

Test di linearità

L'Opacimetro è composto da due lampade idealmente identiche. Se solo una lampada è accesa, circa metà della luce arriva al rilevatore rispetto al caso in cui entrambe le lampade funzionino. Idealmente la somma dei valori di luce rilevati dal funzionamento delle due lampade prese singolarmente ($D_1 + D_2$), dovrebbe essere uguale al valore di luce rilevato dal funzionamento simultaneo delle due lampade (D_{1+2}). Tra le due misure c'è però una piccola discrepanza, così si definisce deviazione lineare il valore:

$$\Delta D = \frac{D_{1+2} - D_1 - D_2}{D_{1+2}} \cdot 100\%$$

Solitamente è richiesto un valore minore dell'1% di deviazione.



Procedura:

La schermata di misura del “Test di linearità” può essere selezionata dallo schermo di Menu (premendo F1) e confermando con EXEC (F6).

Iniziare la procedura premendo START (F4) nella schermata “Linearity test”. Il test si esegue automaticamente premendo “START” ed il risultato è mostrato dopo 20 secondi.

Controllo di linearità Calibrazione con “Natural density filters” ufficialmente calibrati

Si esegue per verificare l'accuratezza, la riproducibilità e la linearità ed anche come prova di misura certificata. Per effettuarla si usa un filtro con un assorbimento calibrato da inserire nell'apparecchiatura, frapponendolo a lampada alogena ed elemento rivelatore. Tali filtri, prodotti con diversi gradi di opacità, sono disponibili sul mercato. Il valore misurato dovrà corrispondere con una certa tolleranza al valore di assorbimento del filtro usato. Si ricorda come il livello di assorbimento del filtro decresce al riscaldarsi del filtro. Non bisogna perciò lasciare il filtro di calibrazione nell'Opacimetro per più di 1 minuto, altrimenti questo dovrà essere nuovamente calibrato.

I filtri di densità neutrale sono montati in una cartuccia di calibrazione dei filtri.

Per la calibrazione la cartuccia di calibrazione dei filtri deve essere inserita nell'unità di luce al posto della cartuccia senza i dischi di vetro.

Procedura realizzare la calibrazione con il filtro di densità neutrale

1. Strumento controllore

Dallo schermo di Menu (F1) scegliere quello di calibrazione e confermare con EXEC (F6).

Premere START (F4) per iniziare la calibrazione. Essa si otterrà con la sequenza descritta più sotto.

Premere ZERO (F4) per tornare allo zeroing.

2. Controllo con interfaccia seriale

Comando AK: SCAL

Si può richiamare il risultato con ACAL x

Sequenza di calibrazione

- a) Prima di iniziare la calibrazione accertarsi che la cartuccia senza dischi di vetro sia completamente inserita
- b) Richiamare la procedura di calibrazione (vedi sopra)
- c) La luce principale lampeggia lentamente: rimuovere la cartuccia senza filtro di calibrazione ed inserire quella con il filtro
- d) La luce di controllo principale ON/OFF è illuminata costantemente quando il filtro è inserito
- e) Quando un valore è misurato stabilmente per N (o k), questo viene visualizzato o può essere chiamato con i comandi AK
- f) La luce lampeggia lentamente
- g) Se un altro valore di calibrazione è richiesto, rimuovere il filtro di calibrazione ed inserire quello successivo. Ripetere la procedura dal punto d). Se la calibrazione è finita, inserire la cartuccia senza dischi in vetro.
- h) Il processo di calibrazione è finito quando l'utente richiama la funzione "Zeroing".

I seguenti sensori possono essere calibrati:

- Sensore di temperatura della camera di misura
- Sensore di temperatura per il gas campione in ingresso
- Sensore di misura della pressione nella camera di misura

- Sensore di portata del gas campione

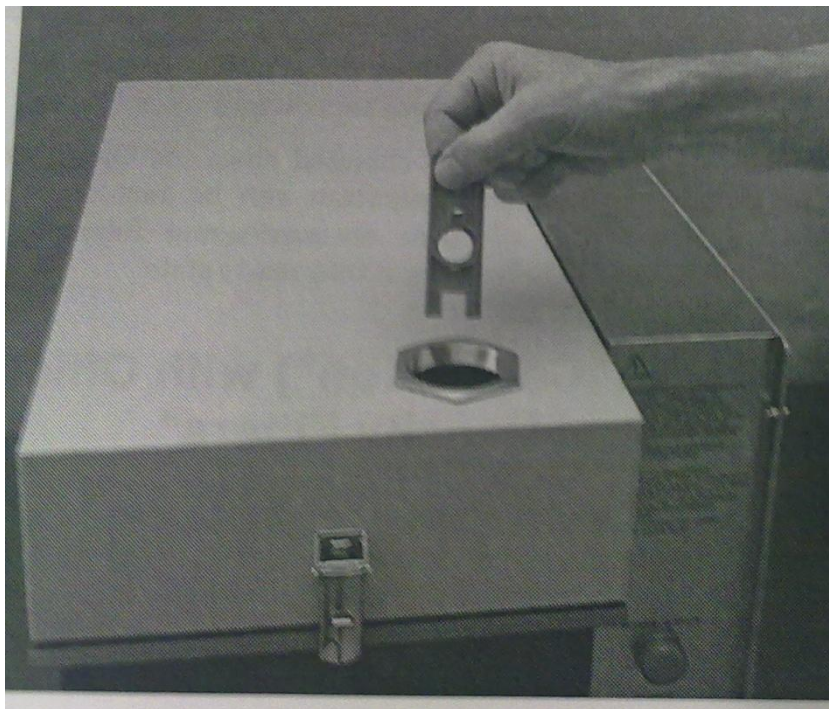
Solo la pressione dell'aria ambiente dovrebbe essere calibrata giornalmente, almeno quando ci sono cambiamenti nelle condizioni atmosferiche (dopo l'accensione e prima della fase di riscaldamento).

La pressione dell'aria è inserita nei parametri di device nello schermo "Parametri".

Il comando AK per calibrare il sensore della pressione dell'aria ambiente è:

ELDR x x... pressione assoluta attuale dell'aria ambiente

La calibrazione deve essere effettuata solamente da personale specializzato



Misura del valore di picco (ECE R24, ELR)

L'Opacimetro AVL439 può essere usato per registrare il più alto valore misurato durante un certo periodo. Questo tipo di misura è prescritta per certi test aventi valore legale normalmente usati per certificazioni, ad esempio i test ECER24 o ELR, per le normative europee sulle emissioni imposte ai motori a combustione interna.

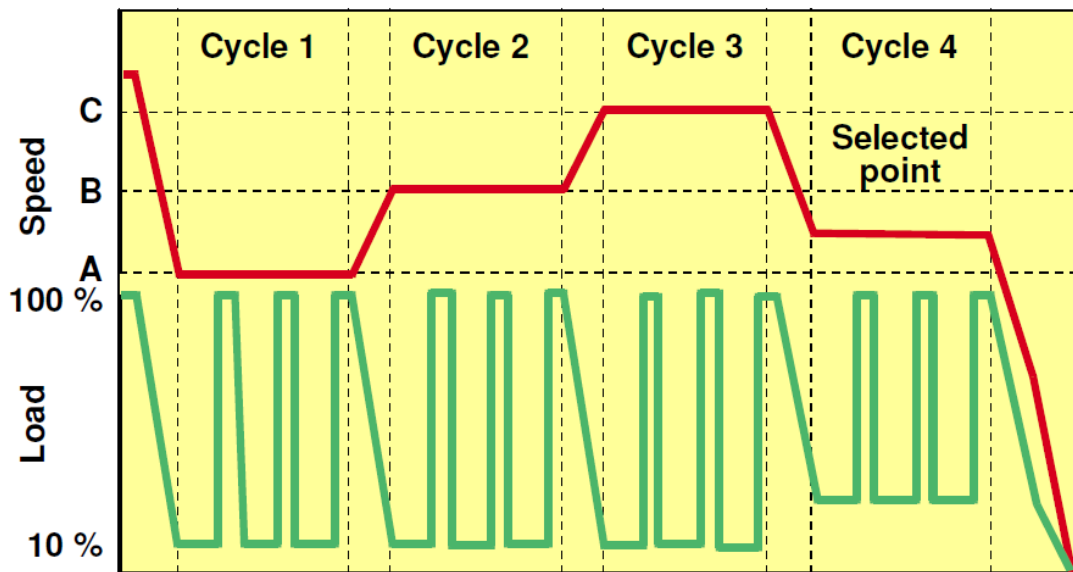


Figura 78 - European Load Response (ELR) Test [20]

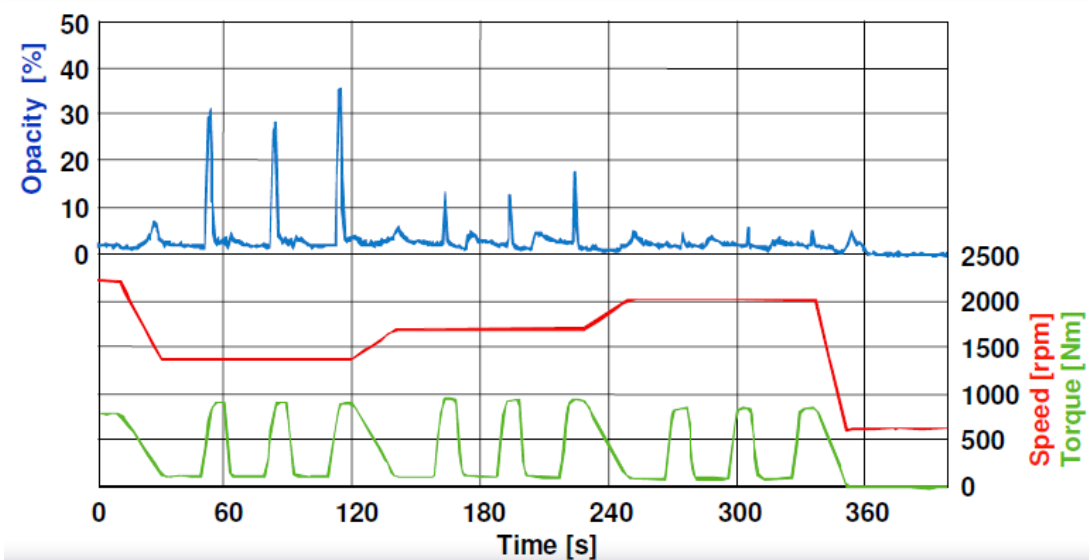


Figura 79 - AVL 439 for ELR Test Application

Bibliografia

- [1] Sistemi di post trattamento dei gas di Scarico di motori diesel, Tesi di Dottorato di ricerca in Ingegneria dei sistemi meccanici, Facoltà di ingegneria, Università degli studi di Napoli “Federico II”
- [2] <http://www.artium.com/cgi-bin/DJgallery.cgi?T=products.html&ZONE=LII>
- [3] Heavy-duty engines – Measurement of gaseous emissions from raw exhaust gas and of particulate emissions using partial flow dilution systems under transient test conditions, ISO/FDIS 16183
- [4] <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.php>
- [5] <https://www.avl.com/micro-soot-sensor>
- [6] https://www.avl.com/c/document_library/get_file?uuid=dca32a7e-0bdc-40a1-b0ee-71279fa3afb2&groupId=10138
- [7] dispense di “Laboratorio di sperimentazione sui motori a combustione interna M” Prof. Nicolò Cavina, Università di Bologna
- [8] SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2004-01-0589 - Comparison of an Alternative Particulate Mass Measurement with Advanced Microbalance Analysis
- [9] gradworks.umi.com/1470795.pdf
- [10] <https://www.avl.com/smoke-meter>
- [11] SAE TECHNICAL PAPER SERIES - 2002-01-2714 - A Fast Response Particulate Spectrometer for Combustion Aerosols
- [12] SAE TECHNICAL PAPER SERIES - 2004-01-0968 - A Photoacoustic Sensor System for Time Resolved Quantification of Diesel Soot Emissions
- [13] http://www.artium.com/_pages/theory-lii.html

- [14] SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2008-01-1180 - Diesel Exhaust Particulate Sampler for On-board PM Measurement
- [15] <http://www.daham.org/basil/leedswww/emissions/cvs.htm>
- [16] <http://www.horiba.com/automotive-test-systems/products/emission-measurement-systems/on-board-systems/details/obs-2000-877/>
- [17] <http://www.sensors-inc.com/onboard.html>
- [18] <http://www.cambustion.com/products/dms500>
- [19] https://www.avl.com/c/document_library/get_file?uuid=41e54802-e6d7-4571-bbdd-9ecb233f1537&groupId=10138
- [20] <http://epic-reports.awi.de/1085/1/TSI1999a.pdf>
- [21] <http://dekati.com/cms/elpi>
- [22] <http://www.tsi.com/engine-exhaust-particle-sizer-spectrometer-3090/>
- [23] <http://www.dekati.com/cms/files/File/PDF/DMMbrochure.pdf>
- [24] manuale AVL 439
- [25] <http://www.artium.com/cgi-bin/DJgallery.cgi?T=products.html&ZONE=LII>
- [26] <http://www.univ-tln.fr/Recherche/unites/lepi/instruments/smeps3934.pdf>
- [27] SAE TECHNICAL PAPER SERIES - 2007-24-0116 - Comparison of the Performance of Real-Time PM Mass and Number Instrumentation for Vehicle Exhaust Measurements
- [28] SAE TECHNICAL PAPER SERIES - 2006-01-1077 - Dynamic Particulate Measurements from a DISI Vehicle: A Comparison of DMS500, ELPI, CPC and PASS

- [29] SAE TECHNICAL PAPER SERIES - 2011-24-0197 -
Measurement of Transient PM Emissions in Diesel Engine
- [30] manuale motore FIAT 1.3 Multijet 16V
- [31] https://www.avl.com/c/document_library/get_file?uuid=dca32a7e-0bdc-40a1-b0ee-71279fa3afb2&groupId=10138
- [32] <http://www.horiba.com/automotive-test-systems/products/emission-measurement-systems/analytical-systems/particulates/details/mexa-1370-pm-58/>
- [33] <http://www.dieselnets.com/standards/cycles/elr.php>
- [34] <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r024r2e.pdf>
- [35] http://www.artium.com/_pages/theory-1ii.html
- [36] 10. Brodrick, C. J.; Sperling, D.; Weaver, C. S. <http://www.uctc.net/papers/421.pdf>. UC Transportation Center. <http://www.uctc.net/papers/421.pdf> (accessed March 21, 2009).
- [37] <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9100B6S1.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1976%20Thru%201980&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C76THRU80%5CTXT%5C00000012%5C9100B6S1.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=16>
- [38] <http://www.epa.gov/otaq/highway-diesel/regs/420r05006.pdf>
- [39] <http://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/86/007-11>

- [40] <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/spec/RTIGravMassSOPFINAL.pdf>
- [41] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:199:0001:0001:IT:PDF>
- [42] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0016:IT:PDF>
- [43] <http://www.brothersoft.com/downloads/vt100-terminal-emulator.html>
- [44] <http://www.brothersoft.com/downloads/vt100-emulator.html>
- [45] <http://www.epa.gov/nvfel/testing/regulations.htm>
- [46] Imad A. Khalek, Shirish A. Shimpi, Performance of partial flow sampling systems relative to full CVS using the EPA 2007 particle sampling procedures, 17th CRC ON-ROAD VEHICLE EMISSIONS WORKSHOP, San Diego, California, March 26 - 28, 2007