



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 931

DATA: 08/04/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Gugliotta

MATERIA: Controllo delle Emissioni Inquinanti

Prof. Spessa

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

CONTROLLO DELLE EMISSIONI INQUINANTI

Un propulsore attuale presenta dei Rendimenti molto bassi infatti solo il 36% dell' En. Chimica del Combustibile viene convertita in En. Meccanica.

Il restante quantitativo viene trasformato in Gas di Scarico e Calore.

Non solo: il quantitativo di En. Meccanica prodotta deve essere tale, per spostare il Veicolo, da vincere:

- INERZIA DEL VEICOLO
- RESISTENZA AERODINAMICA
- GRAVITA' SE IN PENDENZA
- ATTRITI INTERNI DEL PROPULSORE
- RESISTENZA AL ROTOLAMENTO
- MOVIMENTARE ACCESSORI E AUSILIARI

Si capisce quindi che i propulsori disperdono parte dell' En. Meccanica prodotta dalle Combustioni.

Ogni miglioramento effettuato sul veicolo ha un impatto sulla quantità di Combustibile usato seppur in maniera diversa; consideriamo una Riduzione del 10% per:

- Resistenza al Rotolamento → -1,5% Combustibile Consumato
- Resistenza Aerodinamica → -2,7% Combustibile Consumato
- Peso → -3,5% Combustibile Consumato

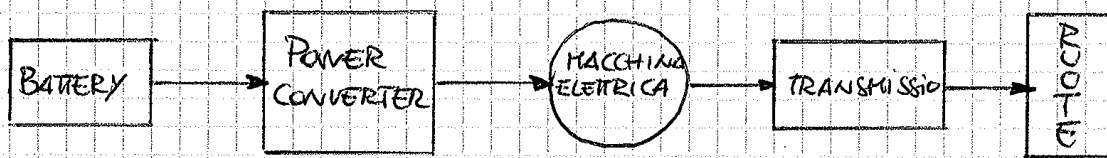
In Termini di emissioni inquinanti prodotte a livello Globale il Trasporto su Terra occupa una buona parte del Complessivo; è per questo motivo che si tende a una sempre maggiore elettrificazione del Propulsore.

b) IBRIDI IN PARALLELO (PARALLEL HEV)

In questi veicoli invece i 2 propulsori sono posti in parallelo e il propulsore termico può avere sia la funzione di ricaricare il Pacco Batterie che di provvedere alla trazione del veicolo.

VEICOLO ELETTRICO

Detto anche Battery Electric Vehicle (BEV) presenta il seguente schema costruttivo:



La trasmissione di questo tipo di veicolo è molto semplice rispetto a quella di un veicolo tradizionale. La macchina elettrica può essere di vario tipo e scelta in base alle esigenze.

In questi veicoli come detto prima però è il Pacco Batterie ad essere l'Anello debole dato che a parità di massa di Combustibile a Bordo non garantisce la stessa percorrenza.

I principali inquinanti PRIMARI Sono:

HC → Idrocarburi Incombusti
NO_x → Ossidi di Azoto (NO, NO₂) } Gassosi
CO → Monossido di Carbono }
PM → Particolato Organico } Solido

Come si vede dalla (I) Tuttavia dalla Combustione si genera CO₂ che non viene considerato un inquinante, ma rappresenta la principale causa dell'Effetto SERRA.

In generale gli inquinanti prodotti da un propulsore sono:

- GASSOSI → NO_x, HC, CO, SO_x
- SOLIDI → Particolato e Metalli Pesanti

SCALE DI AZIONE

Le scale di Azione esprimono l'incidenza, in termini di Raggio di Azione, di vari inquinanti.

In base ad esse posso classificare gli inquinanti in:

- GLOBALI

Indipendentemente da dove vengono emessi questi hanno una vita abbastanza lunga da influire su scala mondiale.

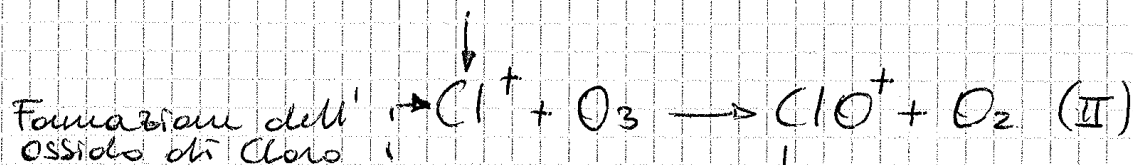
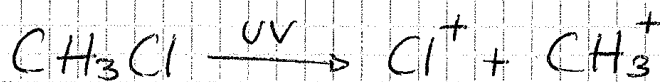
- LOCALI

Hanno una vita breve e sono in concentrazioni tali da avere impatto su un raggio di Azione limitato.

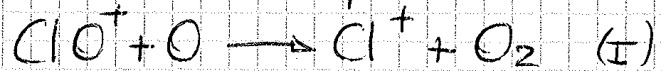
Questo strato protettivo per causa dell'Uomo e in particolare dei Cloro Fluoro Carboni (CFC) usati in passato si è rotto e successivamente si è bucato.

I CFC infatti giunti nella Stratosfera per effetto della Radiazione UV si spezzano per poi legarsi con l'Ozono e dar vita a Monossido di Cloro e Ossigeno Molecolare.

Chimicamente si ha:



Dissociazione del Monossido di Cloro e Formazione ossigeno Molecolare



Si vede che dalla (I) riprende il processo di formazione del Monossido di Cloro descritto nella (II).

Si evince quindi che un solo atomo di Cloro può distruggere decine di migliaia di Molecole di O_3 .

Ha lo stesso effetto sull'Ozono l'Ossido di Azoto (NO_2)

RISCALDAMENTO GLOBALE

Esistono in Atmosfera delle specie Gassose che hanno la capacità di catturare la radiazione UV riflessa dalla Terra senza che essa sia in grado di tornare alla fonte (Sole)

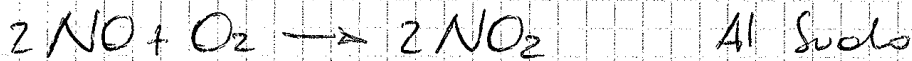
In questo modo il Calore viene trattenuto e non disperso.

Tra questi Gas abbiamo in particolare specie Biatomiche e Bipolari.

SMOG FOTOCHIMICO

Si tratta di una nebbia bruciante composta da Ozono, Acido Nitrico e Composti Organici Volatili. Questo è dannoso per la salute umana oltre ad avere un odore sgradevole.

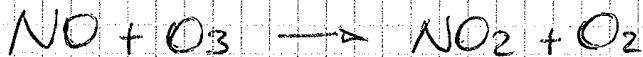
Si produce a partire dagli ossidi di Azoto NO_x



Una volta ottenuto NO_2 questo per effetto delle Radiazioni UV si scioglie in:

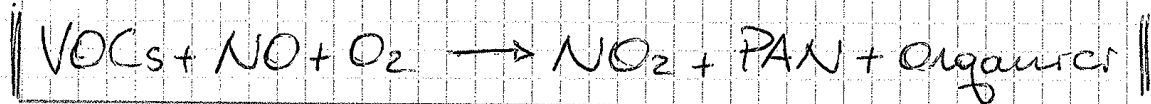


Una volta in atmosfera però siamo in presenza di Ozono O_3 che causa:



In questo modo l'Azoto ha lo stesso effetto dei CFC sull'Ozono.

In generale ho:



VOCs \rightarrow Composti Organici Volatili

PAN \rightarrow Perossi - Acil - Nitrati

Bisogna sottolineare che la formazione di Smog Fotochimico dipende dalle presenze delle Radiazioni UV.

Se essa non è presente NO_2 non si dissocia in NO per cui lo Smog Fotochimico è più presente in Aree Urbane ad Alta Densità e molto soleggiate.

A rendere molto alta la SR per le emissioni Euglie OUT è il fatto che l'idrocarburo reagendo con O_2 genera Alcoli e Aromatici, oltre ad Alcheni. Mentre gli Alcheni presentano una MIR Trascurabile, è invece molto alta per Alcoli e Aromatici e ciò rende le emissioni Euglie OUT molto Reattive Fotochimicamente.

Gli Idrocarburi mescombusti che si nascondono negli Interstizi, una volta che vengono richiamati in Camera ambiente non in un ambiente favorevole al processo di Combustione per cui questi iniziano a reagire ma le pre-Reazioni si bloccano quando la T e la p sono troppo basse. Allora si formano composti intermedi, appunto ALDEIDI e AROMATICI con Alta Reattività Specifica (SR).

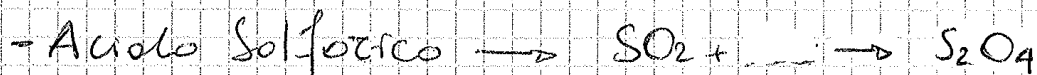
PIOGGE ACIDE

È un fenomeno Atmosferico che si verifica come precipitazioni Acquose o Nevose con pH molto Acido. L'atmosfera presenta un pH $\approx 5,6$ mentre la pioggia Acida ha:

$$pH \leq 5$$

Posso avere Deforestazione o Defogliazione.

I Motori o i sist. di Combustione generali producono NO_x e SO_x che posso reagire con radicali OH andando a formare:



MECCANISMI DI FORMAZIONE NEI MOTORI SI

Gli NO_x si formano perché l' N_2 presente nell'aria tende ad ossidarsi con l'ossigeno in particolari condizioni:

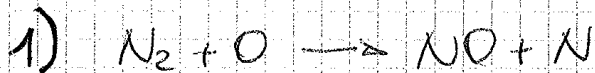
1) ALTE TEMPERATURE ($T > 1850\text{K}$)

In questo modo si abbatta l'En. di Attivazione delle Reazioni di Ossidazione dell'Azoto

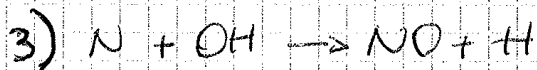
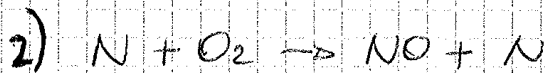
2) PRESENZA DI RADICALI (O)

Questi si formano a seguito delle Combustioni.

REAZIONI (MECCANISMO TERFICO)



↳ È molto Reattivo e va a cercare O_2 o altri Radicali come OH



Queste prime 3 Reazioni esprimono il Modello di Zeldovich-Lavie

• Zeldovich $\rightarrow 1) + 2)$

• Lavie $\rightarrow 1) + 2) + 3)$

Le reazioni 1)+2) sono dette ZM (Zeldovich-Mechanism)

Le reazioni 1)+3) sono dette EZM (Extended Zeldovich Mech.)

Le reazioni 1) $\rightarrow 6)$ sono dette SETM (Super Extended Zeld. Mech.)

Quanti NO_x si formano? (Slide 37)

Si riporta in funzione del Tempo le parti per milione in volume di combustione dei vari Elementi e Composti. Ho inizialmente solo reagenti e man mano che passa il Tempo:

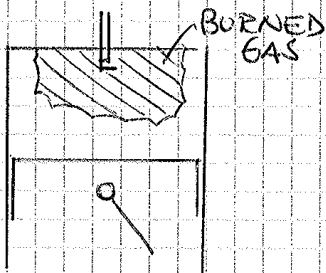
- Si Riducono le Concentrazioni dei Reagenti
- Aumenta il n° dei Radicali presenti
- Aumenta la Concentrazione dei Prodotti

Si nota che la formazione degli NO è molto lenta rispetto a quella di formazione dei Prodotti che è quasi istantanea.

Quindi per formarsi NO_x è richiesta la Combustione ma con una velocità molto diversa.

Dove si formano gli NO_x?

A causa appunto di queste differenze di velocità fra la propagazione del fronte (veloce) e di formazione degli NO_x, si intuisce che questi non si possono formare in prossimità del fronte di Fiamma, ma lo faranno piuttosto nella zona alle spalle di questo ovvero nelle zone Burned Gas.



È a causa della lentezza della formazione degli NO_x che devo ricorrere alla:

CINETICA CHIMICA

Si ha una VELOCITÀ di REAZIONE DIRETTA:

$$v = k [A]^a [B]^b$$

con: A e B Reagenti
 k dalla (1)
 a e b coef. Stechiometrici

Nel caso in cui abbiamo a che fare con la reazione inversa il contributo rappresenta la velocità di decomposizione dell'NO

Nelle concentrazioni compare il pedice "e" che indica che la concentrazione è stazionaria all'Equilibrio. Questo perché le specie che lo presentano sono RADICALI che si formano dalle combustioni molto veloci e che quindi raggiungono l'Equilibrio dinamico in fretta per cui accettare un'Approssimazione non comporta errore. I Radicali che presentano il pedice sono quindi quelli provenienti dalle combustioni.

Si ha il pedice anche in N_2 e O_2 che derivano dal processo di combustione anche se non sono Radicali.

Le grandezze dove il pedice non compare sono:

$NO, N_2O, N,$

Queste non sono all'Equilibrio dinamico per cui per queste devo valutare la v. di Reazione: $\frac{d[NO]}{dt}$ $\frac{d[N_2O]}{dt}$

Allora dalla somma dei contributi deriva:

$$\frac{d[NO]}{dt} = k_1^- [N_2]_e [O]_e - k_1^+ [NO][N] + k_2^+ [N][O_2]_e - k_2^- [NO][O]_e + k_3^+ [N][OH]_e - k_3^- [NO][H]_e + k_6^+ [N_2O][O]_e - k_6^- [NO][NO]$$

Vado anche a scrivere le $\frac{d[N]}{dt}$ e le $\frac{d[N_2O]}{dt}$ applicando

le 4) e la 5).

$$\frac{d[N]}{dt} = -k_1^+ [NO][N] + k_1^- [N_2]_e [O]_e - k_2^- [N][O_2]_e + k_2^+ [NO][O]_e - k_3^+ [N][OH]_e + k_3^- [NO][H]_e$$

$$\frac{d[N_2O]}{dt} = +k_5^- [N_2]_e [O_2]_e - k_5^+ [N_2O][H]_e + k_4^- [N_2]_e [OH]_e - k_4^+ [N_2O][H]_e + k_6^- [NO][NO] - k_6^+ [N_2O][O]_e$$

$$\frac{R_6}{1 + \frac{R_6}{R_4 + R_5}} \rightarrow \text{Super Extended Zeldovich Mechanism}$$

Ci serve a questo punto per poter risolvere la $\frac{d[NO]}{dt}$ la T locale o meglio la storia delle Temperature locali in un determinato p.to in Camera di Combustione, per calcolare: $[NO]_{eq}$

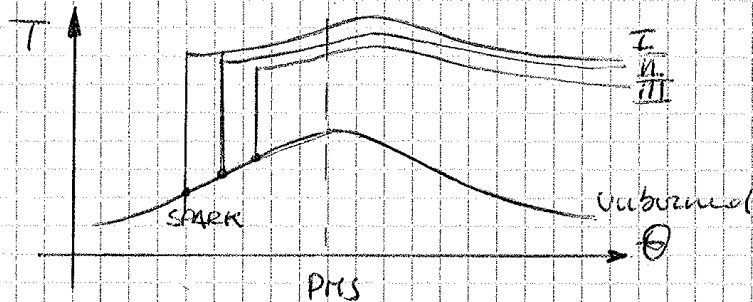
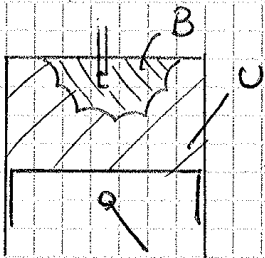
Questo modello è fondamentale ma per essere utile un serve quindi un modello Termodinamico che ci esprima la T in Camera di Combustione e la sua Storia Temporale.

MODELLO TERMODINAMICO

ci deve riprodurre ciò che accade in Camera di Combustione.

Sappiamo che gli NO_x si formano nella zona dei Burned Gas, alle spalle del fronte, che possiamo considerare a T non uniforme e variabile nel tempo.

Mentre gli unburned posso considerarli a T uniforme ma variabile nel tempo



Nei sappiamo che la carica nei SI inizia a bruciare massa dopo massa.

I \rightarrow 1^a massa che brucia

II \rightarrow 2^a massa che brucia

III \rightarrow 3^a massa che brucia

⋮

N \rightarrow N^a massa che brucia

Si vede come la prima zona presenta $[NO]$ molto elevate e man mano che si passa a zone successive il picco di $[NO]$ si abbassa e si sposta dopo il PMS.

La fase in cui si ha decrescenza di $[NO]$ è la fase in cui si ha decomposizione degli NO mentre la zona crescente è quella di formazione.

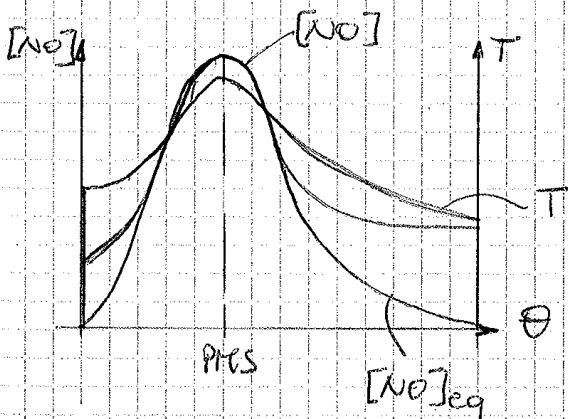
Ormai, in un caso ideale la fase di decomposizione dovrebbe portare gli $[NO]$ ad annullarsi; invece si vede che questi raggiungono un valore di assestamento.

Questo si deve alla variazione di T che essendo sempre più alta congele la decomposizione di NO che quindi ci ritroviamo allo scarico.

Nelle ultime zone invece questo effetto congele le reazioni di formazione.

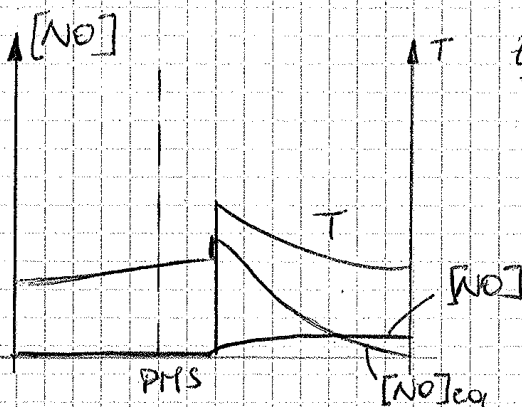
Quindi gli NO_x sono calcolati per ogni zona.

Quindi adesso io conosco le T delle varie zone sono per cui in grado di poter ricavare la $[NO]_{eq}$.



zona I

Si vede come il picco di T sia tale che la $v.$ di formazione e decomposizione di $[NO]$ sia confrontabile a quelle di $[NO]_{eq}$ mentre per il congelamento delle reazioni nelle



zona X

Zona lo non si abbassa nemmeno la formazione e quindi $[NO]$ ha aumento del tutto diverso da $[NO]_{eq}$

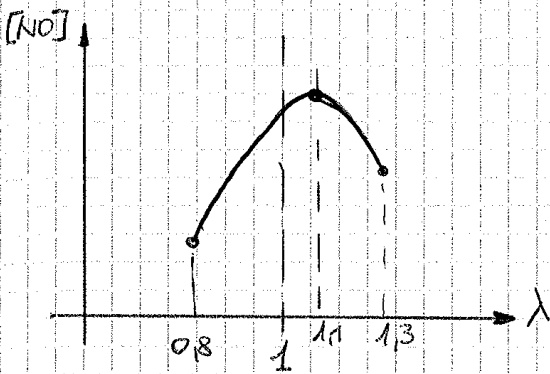
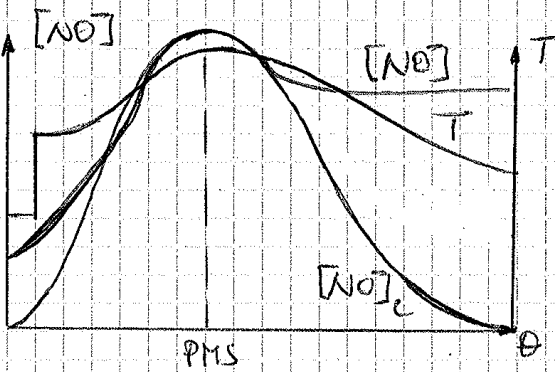


Diagramma uolo $[NO]$ in f. ne di λ si ottiene:

Nel Povero ho il massimo perché è più rilevante la presenza di O_2 che l'abbassamento delle T in camera per questo λ .

POVERO ($\lambda = 1.3$)

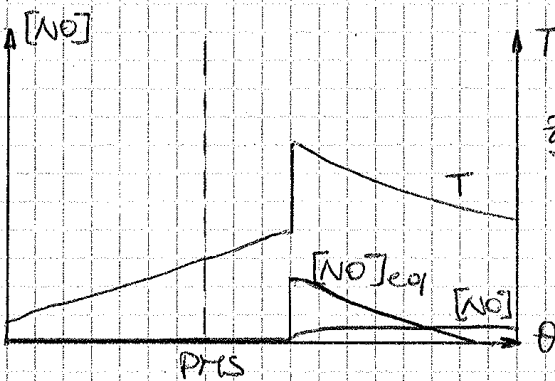


zona I

Anche in questo caso rispetto alle miscele $\lambda = 1$ si ha una minor produzione di $[NO]$.

La differenza sta nel fatto che in questo caso si congelano le reazioni di formazione mentre quelle di decomposizione che iniziano si congelano quasi subito dopo il PMS.

Rispetto al caso di $\lambda = 1$ si hanno T inferiori di



zona II

circa ~ 300 K e quindi $v.$ di reazioni molto più basse

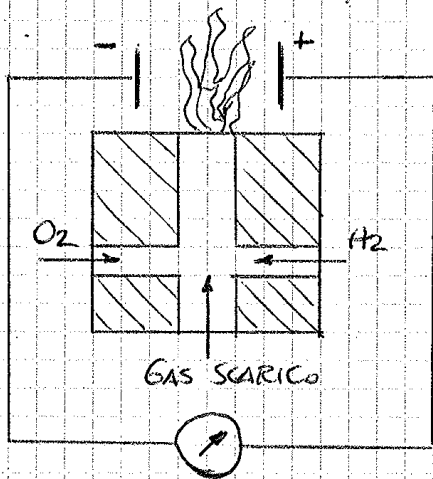
Nei risultati visti per il meccanismo Terence è stato considerato il contributo del meccanismo PROMPT

Ad esempio la $[NO]$ non parte da ZERO ma le presenze di Residui in Camera di Combustione che contengono a loro volta NOx .

TORMAZIONE DEGLI HC (SI)

Per la misura e il misuramento del tipo di Iolo carbonio si usa un ANALIZZATORE a ionizzazione di FIAMMA (FID).

FID (Flame Ionization Detector)



Si ha l'ingresso dei Gas di Scarico che contengono HC e si ha una fiamma alimentata da H_2 e O_2 .
 La fiamma che brucia H_2 non produce Ioni

Aggiungendo i Gas di Scarico che contengono HC, questi bruciano e producono Ioni.

Più sono gli Atomi di Carbonio presenti più Ioni si producono.

Questi Ioni essendo carichi raggiungono gli Elettrodi e causa una corrente proporzionale al n° di Ioni che a loro volta sono proporzionali al n° di Atomi di CARBONIO.

Quindi misura le parti per milione (ppm) di HC in riferimento ad una molecola di riferimento che può essere il CH_4 (Metano).

c) DEPOSITI CARBONIOSI

In Camera normale lente sono presenti depositi carboniosi Porosi che se hanno pori grandi si comportano come interstizi, mentre se i pori sono piccoli si comportano come matrice di diffusione. Questi depositi sono più presenti con un motore vecchio

d) SPEGNIMENTO A PARETE

Il fronte di fiamma si arresta in prossimità delle parti che presentano uno strato limite in cui il combustibile al suo interno si trova alla T_{pca} e quindi non brucia.

Tuttavia si può anche avere spegnimento all'interno della carica e ciò si deve a dosature locali troppo lontane dallo stochiometrico

e) COMBUSTIBILE LIQUIDO

Se il combustibile che entra in camera non è del tutto evaporato, raggiunge le pareti e non prende parte al processo di combustione

Queste sorgenti sono di occultamento ovvero la carica viene nascosta alla combustione ma si ha un'ulteriore sorgente che viene da un'ausiliaria di combustione detta,

MISFIRE → Rappresenta la mancata combustione, a causa della mancata Accensione, di parte o della totalità della carica.

Allora posso quindi scrivere infine:

$$U_{b_{CR}} = U_{M_{CR}} \cdot \frac{1}{\alpha + \alpha' + 1} \quad \text{ricorrendo la } (*)$$

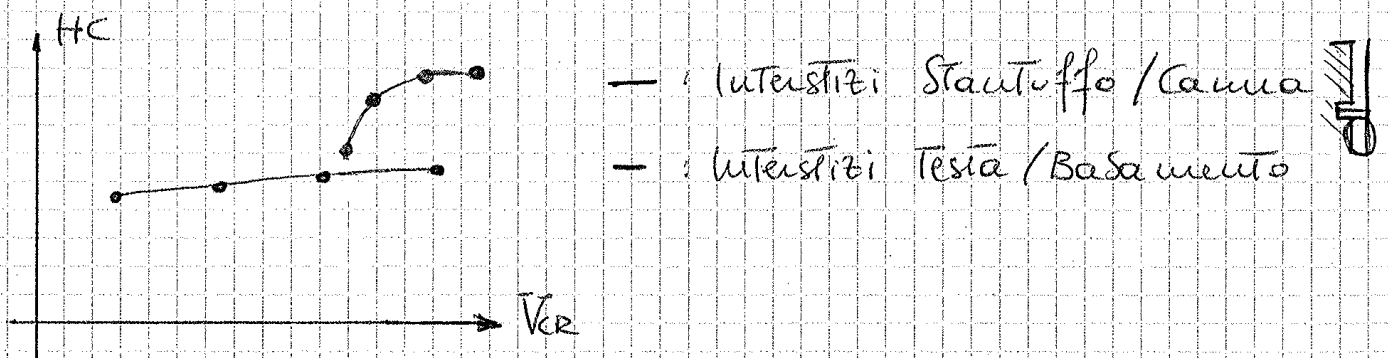
$$\hookrightarrow U_{HC_{CR}} = V_{CR} \left(\frac{P_{max}}{RT_{pan}} - \frac{P_{exn}}{RT_{pan}} \right) \cdot \frac{1}{\alpha + \alpha' + 1}$$

$$\hookrightarrow \left\| U_{HC_{CR}} = \frac{V_{CR}}{RT_{pan}} \cdot \frac{P_{max} - P_{exn}}{1 + \alpha + \alpha'} \right\| \quad T_{pan} \sim 400 \rightarrow 430 \text{ K}$$

Avevo T_{pan} molto inferiore rispetto alle T in Camera. Si ha una densità degli HC negli interstizi superiore a quella della Camera, per cui intrappolo più masse di questo io posso pensare.

Non posso ridurre a zero il volume degli interstizi in Camera a causa del Gro di massa ed f_{vacu} T_0 .

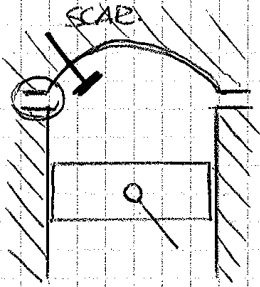
Tuttavia la variazione di volume non è proporzionale alla variazione di HC.



Nel caso di interstizi Camera / Stantuffo ho linearità ma non proporzionalità diretta.

Nel caso di interstizi Testa / Basamento non ho linearità ma con il crescere di V_{CR} ho un aumento degli HC.

Per quanto riguarda l'interstizio Testa basamento si ha:



Durante la fase di Compressione questi si nascondono nell'interstizio che essendo molto prossimo alla Vscan appena queste si aprono richiama gli HC che non vengono per niente ossidati, data la vicinanza interstizio/valvole.

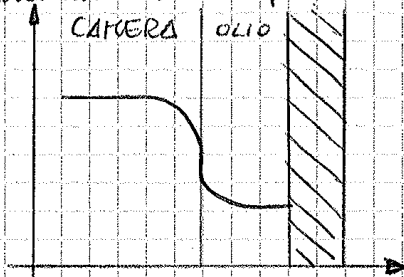
Il max flusso di HC allo scarico si ha appunto all'Apertura della Valvole di Scarico.

E' per questo motivo, per la mancata Ossidazione degli HC, che a pari Volume l'interstizio Testa/Basamento ha più HC rispetto all'interstizio Canna/Cilindro.

ASSORBIMENTO NELL'OLIO LUBRIFICANTE

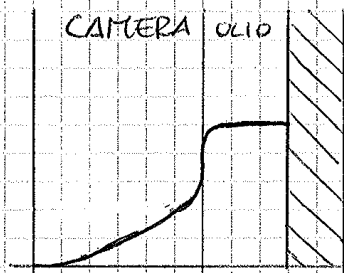
Si ha l'Assorbimento dei vapori di Combustibile nell'Olio Lubrificante a seguito della Compressione.

Concentrazione Vapori Comb.



PRIMA DELLA COMBUSTIONE

Come si vede in Camera ho una Concentrazione superiore di Vapori di Combustibile che quindi diffondono nello stretto dell'Olio.



DOPO LA COMBUSTIONE

Ma anche dopo la Combustione ho in Camera un'alta Concentrazione di CO_2 , H_2O allora ho diffusione dei Vapori di Combustibile dall'Olio alla Camera per ritrovarli allo Scarico.

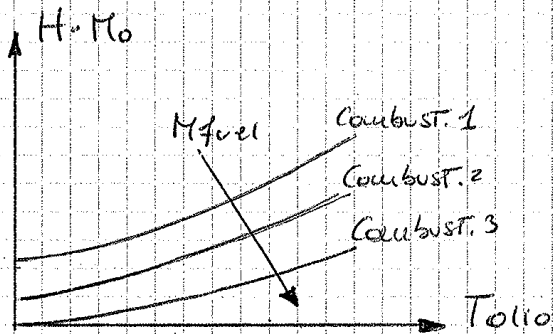
dato che il processo di Ossidazione non riesce a coinvolgerli.

Aumentando quindi a sostituire ottengo:

$$\frac{M_o}{M_f} \cdot \omega = \frac{M_{gas}}{M_f} \cdot Y \cdot \frac{P}{H} \rightarrow \boxed{\omega = \frac{M_{gas, oil} \cdot Y \cdot P}{M_o H}} \quad (1)$$

Questa quindi esprime la Concentrazione di Combustibile nell'olio.

Al Cambiare di p a pari Valori, $\omega \uparrow$ allora aumenta la Concentrazione di Olio nel Combustibile.

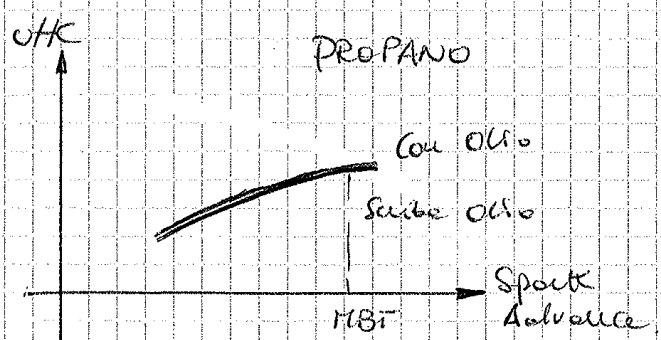
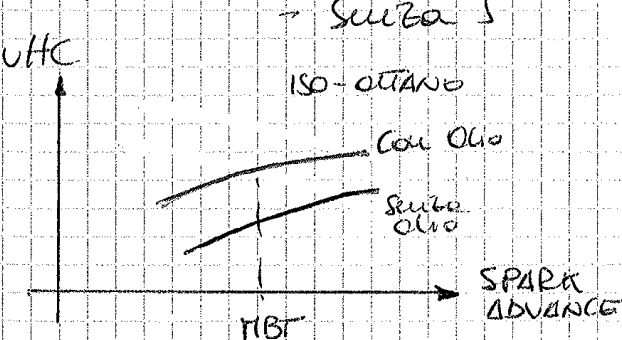


Aldensare di M_f del Combust. a pari T dell'olio aumenta $H \cdot M_o \rightarrow \omega$ Diminuisce e quindi ho meno Combust. disciolto nell'olio e quindi meno HC emessi.

Invece considerando lo stesso Combustibile al crescere di T. olio mesca $H \cdot M_o$ facendo decrescere ω e quindi il n° di Moli disciolte nell'olio.

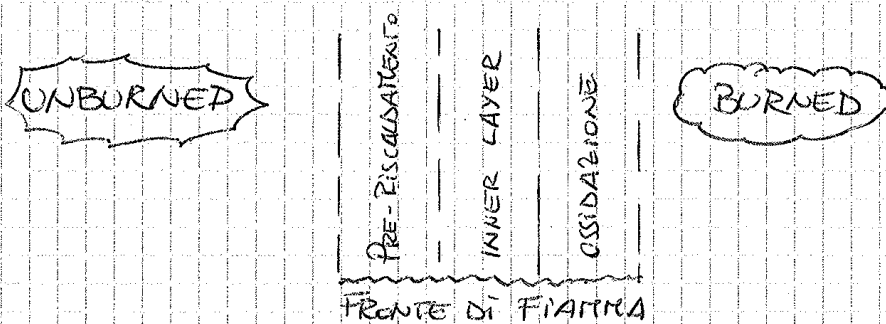
mentre se ho un motore che lavora a Carichi più alti ho p superiori per cui dalla (1) si vede che ω Aumenta \rightarrow Aumentano gli HC Emessi.

Considerando 3 Tipi di Combustibili e diagrammando gli Unburned HC in funzione di Spark Advance per 2 prove:



STRATI DI SPEGNIMENTO A PARETE

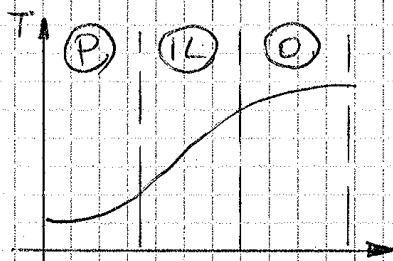
Possiamo dividere il fronte di fiamma in 3 zone.



Nella zona frontale del Pre-Riscaldamento si porta la Carica (Unburned) alle condizioni di uniscoria e pre-Reazioni, che generano i Radicali.

Nella zona dell'Inner Layer questi radicali reagiscono con il Combustibile generando altri Radicali.

Nella zona dell'Ossidazione i Composti intermedi creati si ossidano Bruciando.



La Distribuzione della T nelle 3 zone del fronte fa sì che questo si propaghi in Camere di Combustione per Trasmissione di Calore dalle zone BURNED alla zona della Carica

Fresca o UNBURNED.

Nel momento in cui la zona della Carica fresca è massima alla Parete, la T di questa condiziona la T della Carica che necessita quindi di un flusso Termico più Elevato per Ossidare il Combustibile. Se allora questo flusso non è disponibile non si ha accensione della miscela in questo strato.

Lo strato che rimane non Ossidato a Parete varia il suo spessore in base al Carico. Più è Alto il Carico più è sottile lo strato di Spegnimento.

TRAFILAMENTI ALLO SCARICO

Questo meccanismo si verifica nel caso in cui il Contatto Valvola - Sede Scarico non sia tale da assicurare la perfetta tenuta consentendo così a parte delle cariche di essere trafilate e finire allo scarico senza essere ossidate.

I Trafilamenti sono periodici.

TRASPORTO E OSSIDAZIONE DEGLI HC

Alla fine del processo di combustione gli HC possono:

- a) Essere trattenuti in camera
- b) Essere ossidati in camera
- c) Essere ossidati nel collettore di scarico
- d) Essere emessi come HC Engine-OUT

L'ossidazione degli HC in camera o nel collettore di scarico riesce ad ossidare buona parte degli HC prodotti anche se essi non rivestono nessuna utilità in termini di lavoro.

OSSIDAZIONE DEGLI HC

Perché gli HC vengano ossidati si deve avere:

- Temperatura Adeguata
- Presenza di Ossigeno
- Adeguato miscelamento Aria / Combustibile.

Tuttavia in base al meccanismo di formazione degli HC noi abbiamo due tipi di HC.

- HC in miscela Aria / Combustibile → Provenienti da interstizi Spegnimento a Parite e Trafilamenti

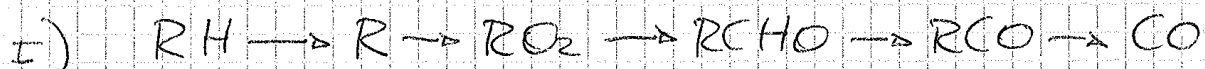
FORMAZIONE DEL CO NEI MOTORI SI

Questo inquinante tossico si forma nei motori con miscele molto ricche ($\lambda < 1$) o durante l'espansione in camera che provoca il congelamento dell'ossidazione del CO in CO₂.

Infatti la reazione di ossidazione del CO richiede tempi lunghi e la camera presenta di ossigeno (che manca se $\lambda < 1$).

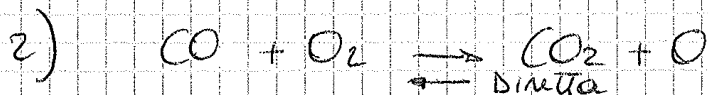
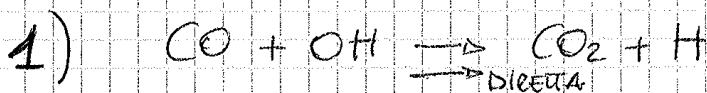
REAZIONI

Il processo di combustione avviene per ossidazione dell'idrocarburo secondo la reazione:



dove R = Radicali dell'idrocarburo.

Il CO che si forma reagisce poi con Radicali; O₂ e OH



Entrambe le reazioni sono caratterizzate da V. di reazioni dipendenti dalla T e dalle concentrazioni Otengo allora:

$$\left| \frac{d[CO]}{dt} = k_1^- [CO_2]_e [H]_e - k_1^+ [CO] [OH]_e + k_2^+ [CO_2]_e [O]_e - k_2^- [CO] [O_2]_e \right|$$

Tuttavia si ha un problema.

Si osserva nel Campo del Povero che il Modello e i rilievi sperimentali si discostano di Δ , mentre è buona l'Accuratezza nel Campo del Ricco e per $\lambda \approx 1$.

La presenza di questo errore fra Modello e rilievi Sperimentali si deve a 2 motivi:

- 1) La Formazione del CO per le miscele povere dipende anche dall'incomplete ossidazione degli HC che provengono dai lubrificanti, strato d'olio e depositi sulle pareti.
- 2) La differenza fra modello e Risultato si deve al fatto che la Dosatura è quella GLOBALE degli n cilindri del Motore che però possono lavorare a Dosature (cioè leggermente diverse dal Valore Medio) introducendo così un errore fra le 2 Curve.

Altro aspetto di cui tener conto è il fatto che in Camera si ha un gradiente termico così come nel Collettore di Scarico.

Questo perché la Storia Temporale delle p e della T dipende:

- a) Dal momento in cui la portellone i si accende
- b) Dal momento in cui la portellone i è Scaricato

Allora in Camera si crea una stratificazione in base alla produzione di CO che è superiore per le zone che bruciano prima e inferiore per le ultime zone a bruciare.

COMBUSTIONE NEI MOTORI CI

Utilizzando un motore ad Accensione Ottica è possibile effettuare una foto-sequenza di ciò che accade in Camera di Combustione pochi gradi dopo l'iniezione principale.

Osservando i singoli scatti si nota che in Camera di Combustione la carica non si accende appena iniettata ma impiega $\sim 4^\circ$ dopo l'iniezione.

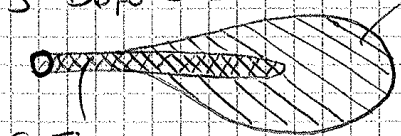
Durante questi $\sim 4^\circ$ tutto il combustibile iniettato si accumula in Camera di Combustione per poi bruciare tutto in una volta con una combustione di tipo

PREMISCELATA

Questo tipo di combustione si deve al ritardo di Accensione del combustibile (T) che dipende da fenomeni chimici (Esaurimento Pre-Reazioni) e Fisici (Vaporizzazione, miscelamento, Atomizzazione).

Prima dell'Accensione della carica sulla Testa del Getto si viene a formare una Nuvola di Carica con dosatura molto ricca ($X < 0,25$) $\Phi = 2-4$ che presenta comunque caratteristiche di Accendibilità.

$\sim 3^\circ$ Dopo SOI



Getto
Liquido

$\Phi = 2-4$ La Combustione infatti si avvia in questa zona.

Ma avendo una miscela così ricca si vengono a formare i precursori del particolato, il soot, che comunque hanno la possibilità, durante la combustione diffusiva, di ossidarsi in Camera.

L'accumulo di combustibile dovuto al T provoca una combustione premiscelata con un grado di p e T tale da favorire la formazione di NO_x durante la combustione diffusiva.

La fiamma diffusiva da un lato ossida il Soot che la attraversa grazie al favorevole Φ , una dall'altro lato la fiamma diffusiva genera anch'essa Soot.

Questo avviene nella zona interna del pennacchio con $T \sim 2000K$ che provocano fenomeni di PIROLISI e CRACKING TERMICO che generano a loro volta particelle di Soot, più grandi di quelle che si formano in prossimità del Getto Liquido.

Per quanto riguarda gli NOx essi si formano alla periferia del Pennacchio per presenza di Radicali e Ossigeno e le alte T.

Ma essendo un processo di formazione molto lento questo si avvia alla periferia della fiamma diffusiva una poi continua in Camera di Combustione.

Slide 9: Natural Flame Emission

La combustione Preinsulata è partita già a $\sim 4,5^\circ$ dopo SOI.

Nell'intorno di $\sim 5,5^\circ$ si formano i precursori del Particolato

Slide 12: Sviluppo della Fiamma Diffusiva

Usando il motore ad accesso ottico con un laser analizzò a eccitare le singole particelle che vagano stocchano, con una frequenza specifica, noto che il Getto è fatto appunto di Soot e Fiamma Diffusiva, composta da Radicali OH

• HEAT RELEASE (HR Cumulato)

Questo presenta un primo rilascio dovuto alla Premiscelata e un 2° Rilascio dovuto alla Diffusiva con Rapporti di HR Cumulato Variabile in base a come si organizza la Combustione.

• SOOT

Si ha un incremento delle formazioni di Soot dopo la Premiscelata che viene ossidata dopo fiamma Diffusiva.

Però proprio questa si spegne e quindi provoca la nascita di Soot.

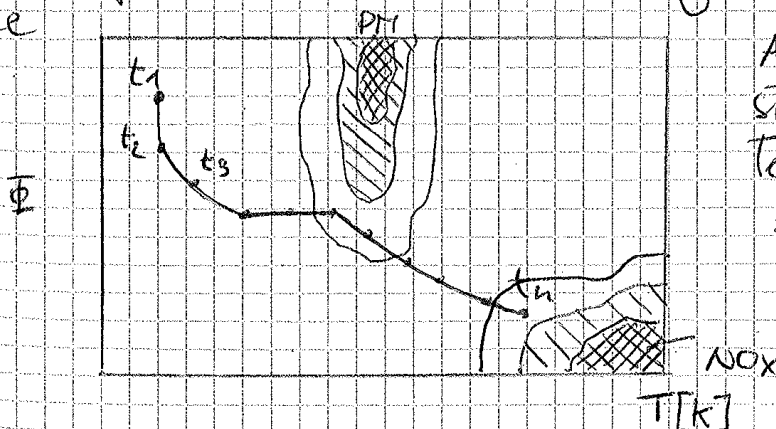
• OSSIGENO

L'Ossigeno usa linearmente prima della Premiscelata pu essere consumato tutto all'interno del pennacchio e andare a zero formando Soot, in questa fase l'O₂ è nullo nel pennacchio e viene visto dalle particelle nel momento in cui arriva alla Diffusiva.

• NOx

Questo si forma solo a risultato della fiamma Diffusiva.

La Storia Termale appena descritta delle particelle la possiamo riportare sul diagramma Kamimoto Bae



Andando quindi a studiare la storia Termale delle particelle vedo istante per istante

Ricomando alle Tecniche Ottiche riesco ad evidenziare la zona di produzione di NO_x

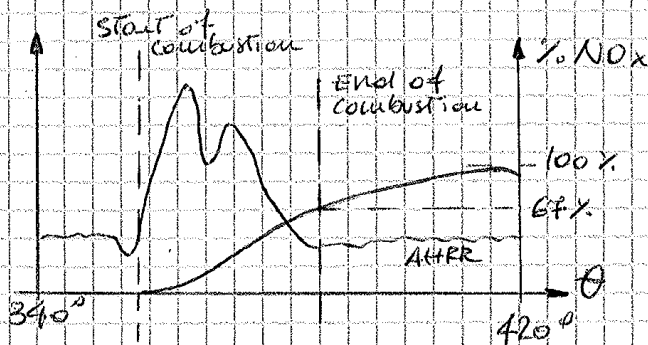
Si usa il Raggio laser con la stessa frequenza degli NO che restituisce appunto l'immagine degli NO_x in Camera di Combustione

Come visto prima questa zona è quella circostante al Pennacchio, nelle sue periferie.

L'indagine PLIF se usata in modo classico restituisce solo un piano della Camera.

Usando allora un fascio laser con spessore superiore e deprimendo il segnale in merito degli effetti di p e T , che incrementano la luminosità degli NO_x , posso risalire alla quantità di NO_x prodotti in Camera.

Riportando allora questo segnale "Corretto" insieme al Rilascio Termico ottengo:



Il 67% della produzione di NO_x avviene durante la Combustione mentre il rimanente si forma nelle fasi successive.

La diminuzione della T in fase di Espansione riduce molto sulla formazione degli NO_x dato che ne congela le Reazioni.

Il Decrescere delle Temperature dipende dal Rapporto di Compressione (E), più questo è alto prima scende la T in fase di Espansione.

Nel motore ad accensione ottica che presenta un E inferiore si ha una produzione di T meno mancata di un motore Reale; per cui l'Andamento visto prima è ancora valido ma in un motore Reale durante la Combustione si può formare fino all'80%.

Nel Complesso nel motore reale si formano meno NO_x

FENOMENI FISICI CHE INFLUENZANO LA PRODUZIONE DI NO_x

Innanzitutto la formazione di NO_x dipende dalle temperature e il tempo di residenza.

Questi a loro volta sono influenzati quindi da parametri che influiscono a loro volta sugli NO_x prodotti. I parametri sono:

a) COMPRESSIONE DELLA CARICA PRIMA DELLA COMBUSTIONE

In CI si raggiungono le T con le quali si ha l'Autoignizione grazie alla fase di compressione della carica.

Per cui nel momento in cui compriamo di più allora le T di fine compressione saranno più alte, così da avere una T delle fiamme diffusive più alte che ci porta a una maggiore formazione di NO_x.

b) COMPRESSIONE DEI BURNED DOPO LA COMBUSTIONE

I Gas Combusti vengono compressi dall'Espansione della carica che brucia, così come gli Unburned.

Questa compressione provoca quindi un incremento della pressione e quindi della T dei Burned Gas in cui si formano gli NO_x.

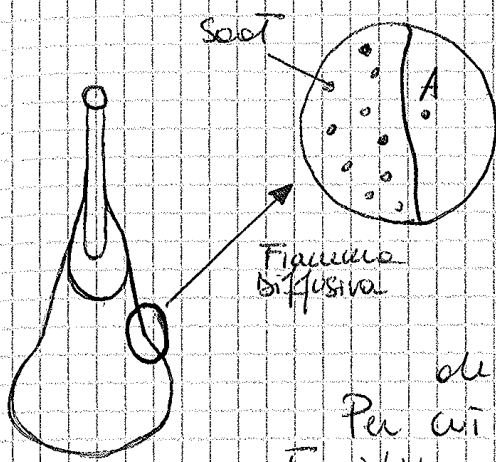
Gli NO_x si formano in fase Diffusiva preceduta dalla Combustione Premiscelata.

Questa essendo molto intensa, per effetto del fenomeno b, aumenta la T in camera facendo produrre più NO_x in fase Diffusiva.

Nonostante quindi la Premiscelata non formi NO_x essa è un parametro importante per la formazione di questi.

Più essa è intensa più sono alte le T in camera e di conseguenza gli NO_x prodotti sono maggiori.

Come si può notare il Bump avviene per valori di SOI tali che (Spatially Integrated Natural Luminosity) SINL passi da valori alti a valori Bassi



La Fiamma Diffusiva scambia Calore, scambiando quindi anche le Particelle di Soot. Tuttavia questa è una particella Solida e quindi se Scatolata questa IRRADIA verso le Pareti della Camera di Combustione.

Per cui la T in A è dovuta anche all'Equilibrio del flusso di Ingresso fra particella Solida e Parete.

È comunque un fenomeno poco influente però se il Soot scompare la parte di Calore assorbita da questo provoca un incremento di T .

È quindi a causa della scomparsa del Soot che assorbe Calore della fiamma diffusa che la T ha una Risposta che forma il Bump.

La presenza del Bump dipende dalle Condizioni di funzionamento.

Non Tuttavia non lavoriamo quasi mai con SOI così Ritardati rispetto al PMS.

Si hanno però motori che lavorano con SOI così in Ritardo rispetto al PMS.

Questo fenomeno quindi determina una miscela locale troppo povera che non accendendosi fa un appunto HC; questo fenomeno viene anche detto OVER LEARNING.

2) UNDER MIXING (OVER RICH MIXTURE)

Si avranno portazioni della carica troppo ricche che non riescono a completare il processo della combustione. Rappresenta il fenomeno opposto al precedente.

Il combustibile che non brucia si può dire ossidare nella fiamma diffusiva, a meno che non si spenga.

Il combustibile più soggetto all'UNDER MIXING può essere quello iniettato nelle ultime fasi dell'iniezione dato che questo non avrà tempo di ossidarsi in fase diffusiva.

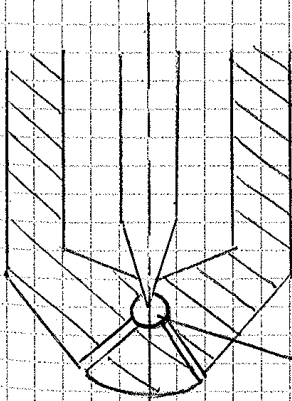
Ma l'UNDER MIXING può essere generato anche dal combustibile iniettato nell'ultima fase dell'iniezione, infatti in questa fase le gocce hanno caratteristiche ben diverse: esse sono più grosse e non riescono ad evaporare.

Cio' si deve al collo della p. di iniezione nell'iniettore al termine dell'evento di iniezione.

Non potendo evaporare queste gocce non bruciano generando HC.

Ulteriore fenomeno che causa l'UNDER MIXING è il:

- GOCCIOLAMENTO DAL SACCO INIETTORE



SACCO INIETTORE

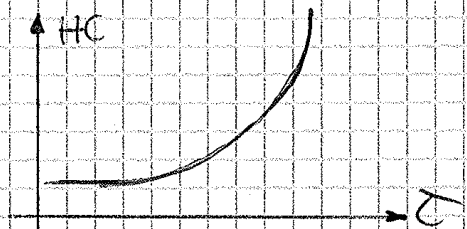
Il combustibile che si ha nel sacco finisce in camera di combustione a iniezione finita per cui è anche esso soggetto di HC.

Però eliminando il sacco non è importante per la geometria del getto.

PARAMETRI CHE INFLUENZANO ECI HC ALLO SCARICO

1) RITARDO DI ACCENSIONE (τ)

Più è alto il Ritardo di Accensione più è marcato il miscelamento fra Aria e Combustibile. Questo si traduce in un Aumento dell'OVERTMIXING che come abbiamo visto una dose $\bar{\Phi} < \bar{\Phi}_L$ per la quale non si ha accensione della carica che risulta troppo povera per accendersi. È infatti un problema dei motori che lavorano con Combustioni ad alta Premiscelazione (HCCI) che hanno necessità di lunghi tempi per la miscelazione e quindi usano Combustibili con τ elevati.



2) TEMPERATURA DELL'ARIA ALL'ASPIRAZIONE

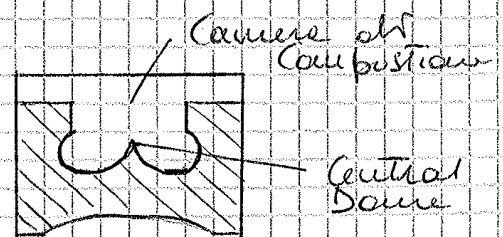
Questa influenza la Dose limite di Accendibilità ($\bar{\Phi}_L$) che al diminuire della T_{asp} , aumenta. Inoltre se la T_{asp} si riduce aumenta il τ per cui si va a produrre più HC.

3) FORMA DELLA CAMERA DI COMBUSTIONE

Importante è la distanza fra iniettori e pareti per limitare lo Spray impingement; variare una camera più larga.

Ma per mantenere $E = cost$ allora devo ridurla in profondità.

Per camera si intende la Bowl dello Stantuffo e la zona del Valvole molto.

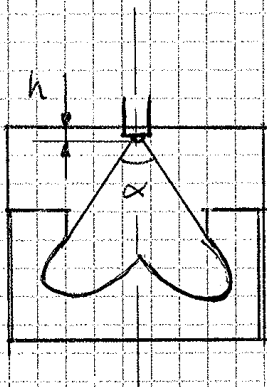


Nel caso invece di Squish Inverso io nel pozzetto ho Gas Combusti o Idrocarburi parzialmente bruciati. Allora il moto di Squish lo tira fuori dal pozzetto mantenendolo in contatto con l'Ansa favorendo l'Ossidazione; devo tuttavia bilanciare lo Squish Inverso perché essendo la Area di Squish a T più basse rischio di far spegnere le fiamme diffuse così da non mescolarsi a ossidare gli Idrocarburi.

Uso allora a controllare lo Squish Inverso con CARERE RIENTRANTI.

In generale Camere più lunghe e meno profonde presentano produzione di HC inferiori e ciò si deve al buon comportamento in caso di Spray Impingement.

Le Camere rientranti mescolano a farci ottenere buon prestazioni in Combustioni Ritardate. Tuttavia una camera di questo tipo è Complesse:



- { α = Angolo Cono Spray
- { h = Sporgenza Iniettori in Camera

Fissato il momento in cui deve avvenire la iniezione in base alla fase della Camera io posso ricavare l'Angolo del Getto e h (Protrusione).

Nel caso in cui esco dalle Condizioni di Progetto ho problemi per:

- α Troppo Grande, h piccolo \rightarrow Getto sull' Area di Squish
- α Troppo Piccolo, h Grande \rightarrow Getto Troppo profondo con scarso mescolamento

Si capisce quindi che è molto complesso avere le giuste dimensioni; ciò dipende anche dai Giochi della Testa motore.

SOF

È legata all'Adsorbimento e alla Condensazione di sostanze organiche ad alto peso molecolare sui Depositi Carboniosi (Soot)

Queste sostanze organiche sono quelle le combustibili come:

- Aromatici
- Policiclici Aromatici (PAH)
- Chetoni
- Solfati → Per la presenza di zolfo nel Combustibile.
- Basi
- Acidi

Nei primi Diesel Oxidation Catalysts (DOC) si cercava di ossidare lo zolfo nel Combustibile; ma ciò aveva dei Solfati che vanno ad Accusare la SOF.

La SOF per il suo contenuto è molto tossica per la salute umana e in questo senso si caratterizza mettendola in contatto con certi batteri di cui valuta la Mutagenità.

PROVA TERMOGRAVIMETRICA

Si usa per stabilire la Composizione del nostro particolato separando SOF da SOOT aumentando la T e mantenendolo per un certo tempo analizzando o pesare il campione.

Prima evapora la SOF che presenta le frazioni volatili del PM e poi ai $\sim 650^\circ$ rimane solo il SOOT più le cenere.

La % di SOF e SOOT dipende dal Carico e dalle v. di Rotazione del Motore.

So di esse poi concluderemo le Sostanze Organiche.

CARATTERIZZAZIONE DEL PARTICOLATO

- Peso
- Diametro Medio \rightarrow Rappresenta il diametro medio delle particelle calcolato sull'intera Popolazione di Particelle.

- FRAZIONE IN VOLUME DELLE PARTICELLE

$$\hookrightarrow \left\| F_v = \frac{V_{soot}}{V_{tot}} \right\|$$

- NUMERO DI PARTICELLE PER UNITÀ DI VOLUME

$$\left\| N = \frac{M_{soot}}{V_{tot}} \right\|$$

Noti ad esempio F_v , N sono in grado di caratterizzare il Sistema e ricavare d .

Quindi bastano solo 2 Parametri.

Si usano F_v e N perché mi dicono quasi tutto sull'evoluzione delle Particelle di soot.

Per quanto riguarda il DIAMETRO MEDIO posso riferirmi a diversi tipi di Diametro:

- a) Diametro Aerodinamico
- b) Stokes Diameter
- c) Electrical-mobility Diameter

Allora i MECCANISMI DI FORMAZIONE sono due:

1) A BASSE T ($T = 1700 - 1800 \text{ K}$)

Gli Idrocarburi Aromatici possono condensarsi andando a formare PAH con struttura simile alla Grafite
 AROMATICI \rightarrow CONDENSAZIONE \rightarrow PAH

2) AD ALTE T ($T > 1800 \text{ K}$)

Tutti gli Idrocarburi, se in un'atmosfera ricca, sono soggetti a PIROLISI dando vita ai Mattoncini che formano i Policiclici Aromatici PAH

AROMATICI + ALIFATICI \rightarrow PIROLISI \rightarrow PAH

Il meccanismo a BASSE T è di tipo diretto mentre il meccanismo ad ALTE T è di tipo indiretto.

La formazione di PAH che coinvolge entrambi i meccanismi si basa su Reazioni HACA

ACCRESIMENTO DEI PAH (Reazioni HACA)

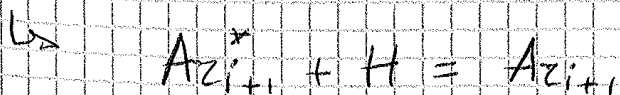
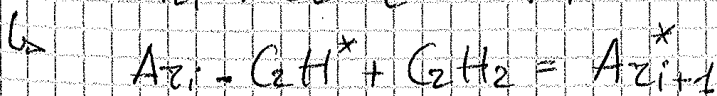
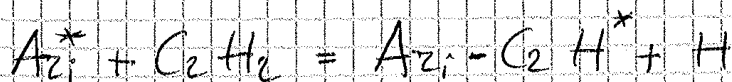
1) SOTTRAZIONE DI H DA UN PAH



$Az_i =$ PAH. Genico con "i" anelli Aromatici

Si ha la reazione di un H presente in PAH con Idrogeno che dà vita a un RADICALE Az_i^* e Idrogeno Molecolare.

2) ADDIZIONE DI ACETILENE (C_2H_2)



CALCOLO DELLA VELOCITÀ DI FORMAZIONE DEL PM.

Questa si può esprimere con un Modello Matematico che introduce una Relazione di Tipo Arrhenius.

$$\left| \frac{dms_f}{dt} = k_f \cdot m_{fv} \right| \quad k_f = A_f \cdot p^{0.5} \exp\left(-\frac{E_f}{RT}\right)$$

dove: E_f = En. di Attivazione

A_f = Cost. Pre Esponenziale

m_{fv} = Massa di Combustibile Vaporizzata

Un problema di questo modello è che non tiene conto della Dosatura per cui è poco utile.

Ne esistono tuttavia di più precisi e calibrabili sul propulsore.

OSSIDAZIONE DEL PARTICOLATO

La velocità delle Reazioni di Ossidazione per specie eterogenee come il Particolato dipende dalle capacità di diffusione dei Reagenti e dei Prodotti attraverso la Superficie interessata.

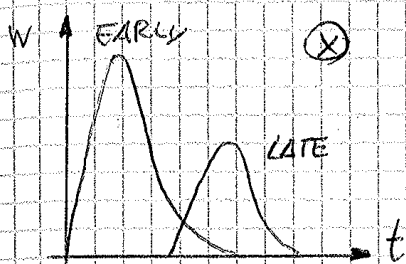
Il Particolato nei Diesel ha dimensioni tali che non si hanno problemi di diffusione per cui il processo di Ossidazione è controllato dalla CINETICA CHIMICA

Il fenomeno di Ossidazione del Particolato analizzato con modelli Semi-Empirici suggerisce che la velocità di Ossidazione (in grammi su cm² di Particolato) dipende strettamente dalla Temperatura.

Possiamo anche calcolare la quantità di Particolato Ossidato nell'Unità di Tempo tramite la:

$$\left\| \frac{dw}{dt} = \frac{6w}{\rho_s D_s} \cdot \frac{M_c \cdot K_{ox}}{t} \right\| \quad M_c = \text{Peso Molecolare Carbonio}$$

La Capacità e quindi la v. di Ossidazione delle particelle dipende dalla velocità con cui esse attraversano la fiamma diffusiva.

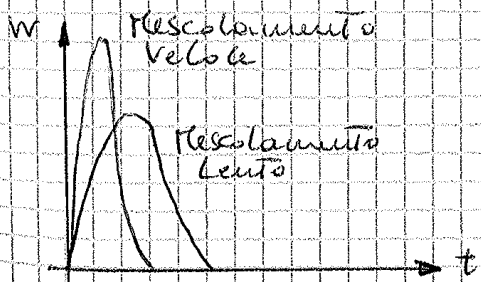


Si vede infatti come una particella che attraversa presto la fiamma diffusiva presenta una w superiore rispetto a una particella che attraversa tardi la fiamma.

Altro fenomeno importante per la v. di Ossidazione è il mescolamento che dipende dalla turbolenza in camera.

Se il mescolamento è veloce la v. di Ossidazione è più alta.

Il mescolamento termina quando il Φ locale è pari al Φ Medio della camera.

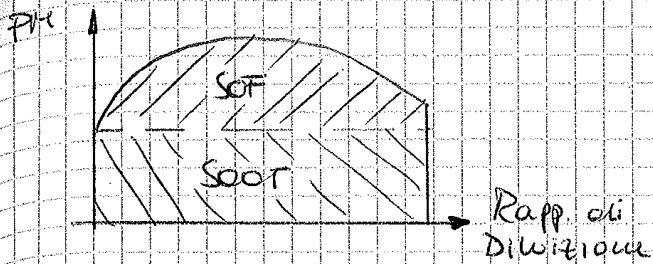


La Velocità di Ossidazione si riduce quando siamo in fase di Espansione e a causa del mescolamento che riduce la T in camera.

L'integrale di queste curve misura la quantità di Carbonio Ossidato.

Andando a vedere infatti il Grafico \otimes si nota che più attraversamento della fiamma diffusiva presto si ossida più Particolato.

Plus marcato è invece l'influenza, sulla quantità di C ossidato, del mescolamento.



Devo quindi usare un rapporto di diluizione ben definito dalle normative.

EFFETTO DEI PARAMETRI SULLA FORMAZIONE DI PM.

Bisogna intanto tener conto della Combustione. Durante la PREMISCELATA si formano i PAF e ho quindi bisogno di un modello che mi esprima la quantità e di un modello che mi esprima la cessione dei PAF. Fatto ciò ci serve un modello che analizzi gli aspetti chimici e termodinamici che influiscono sul comportamento dei PAF.

Oggi siamo in grado con combustibili Multi-Componenti di esprimere quanto ipotizzato nel modello.

Queste prove si fanno in reattori a $V = cost$ in cui fisso Φ , fisso Θ e al variare del tempo di reazione analizzo la quantità di PM prodotto.

Tuttavia questa metodologia non è adeguata alle condizioni che si realizzano in un propulsore.

Usando però modelli 3D-CFD per ogni Θ riesco a valutare la quantità di PM prodotto come per il caso del reattore.

Posso però ai vari Θ della Combustione andare a ripartire sul Φ, T le condizioni ricavate con il modello CFD nel propulsore reale così da ottenere utili informazioni.

In fatti ad ogni Θ della Combustione nel propulsore, corrisponde un T di reazione nel reattore.

Tuttavia i punti Φ, T del propulsore vengono ripartiti sul Kamimoto-Bae per tempo di reazione di

1 ms

Quello che si deve cercare di realizzare è avere

$$\|H > L\|$$

Ciò si Realizza con la Riduzione dei Fori Lussellari e con l'Aumento della p. del Rail.

In questo modo a punto mesco a spingere l'Ossigeno verso la zona Preinsalata e a ridurre il Soot prodotto.

COMBUSTIBILE: EFFETTO SUL PARTICOLATO

Esistono dei Combustibili Ossigenati in cui l'Ossigeno è direttamente legato al Carbonio e che presenta in termini di produzione di particolato una notevole riduzione proprio per la presenza dell'Ossigeno che evita la formazione di PAH.

In questo modo sul Kamimoto-Bal (E-T) si riduce notevolmente la zona di produzione del Soot.

Tuttavia questi allo stato puro hanno Bassi (H) poteri calorifici oppure sono prodotti a partire da Biomasse la cui filiera di produzione rischia di essere inquinante.

Posso allora pensare di usare Combustibili Ossigenati come additivi del Combustibile di Partenza, in questo modo sposto la zona di formazione del Soot sul Kamimoto-Bal verso E più altri.

I Veicoli della Categoria III e N1 devono essere sottoposti a un Test principale di Partenza a Freddo (Tamb), detta di Tipo I.

Si ha poi la prova di Tipo VI (Tamb = -7°) per i SI.

Si hanno anche altre prove di Tipo: VI; III; IV che sono prove riguardanti:

Tipo VI → Durate dei dispositivi Antinquinamento

Tipo III → Prove di Emissioni di Gas dal Basamento

Tipo IV → Emissioni per evaporazione.

PROVA TIPO I: CICLO NEDC

È una prova che prevede la verifica delle Emissioni inquisiti dopo l'Avviamento a Freddo (Tamb).

Dopo il veicolo esegue il ciclo Guida su banco e Rollr che ne simula la Coppia Resistente all'Avanzamento.

Il Guidaatore si occupa di rispettare il profilo di Velocità imposto dal Ciclo NEDC.

Questo si compone di due parti:

1) PARTE 1: CICLO URBANO ELEMENTARE

È ripetuto 4 volte con una velocità max di 50 km/h con frequenti partenze e fermate.

2) PARTE 2: CICLO EXTRAURBANO

Rappresenta una Guida su strada Extraurbana o in Autostrada con velocità max di 120 km/h e presenta accelerazioni Aggressive.

Il Ciclo stabilisce anche istante per istante quale marcia usare quando stacca la frizione, per cui in questo senso è vincolante.

Il Guidaatore deve percorrere il profilo di Velocità con un margine di errore contenuto.

quindi pensabile di usare gli stessi limiti.
Tuttavia oggi si sta cercando di far convergere i limiti delle Normative per i Diesel e per i Benzinaie.

Oggi il rispetto dei limiti si ottiene non solo migliorando la Combustione, ma soprattutto usando sistemi di After-treatment.

Negli EURO 5b nei motori CI si è iniziato a valutare anche il n° di Particelle che il motore può emettere. Inoltre per questi motori sarà critico il passaggio da EURO 5 a EURO 6 per le restrizioni sugli NOx che vengono dimezzati.

Dall'altro lato sia per i SI che per i CI le Emissioni di CO sono ad un valore Asintotico.

VITA UTILE DEL VEICOLO

I limiti imposti dalle Normative non devono essere rispettati solo dal veicolo Nuovo, ma anche dal veicolo Invecchiato; è per questo motivo che la Normativa prevede in base ad ogni inquinante un coef. di Deterioramento.

Quindi per rispettare anche le Emissioni dopo il Tempo (o i Km) previsti deve andare a Omologare il Veicolo con dei limiti, molto del coef. di Deterioramento e quindi più stringenti di quanto previsto.

Questi coef. sono disponibili per ogni inquinante e per ogni tipo di Propulsore.

Si nota nei motori CI, HC + NOx perché sono i principali responsabili dello Smog Fotochimico.

Nella Realtà questo limite si doveva raggiungere operando sia sul Sistema Ponderato per cui si poteva emettere fino a 130 g_{CO_2}/km e ottenere una riduzione di ulteriori 10 g_{CO_2}/km usando Tecnologie Alternative come:

- Indicatori Cambio Marcia
- Bio-Carburanti
- Indicatori di Pressione Gomme.

Queste Tecnologie non devono avere impatto sull'NEDC.

Questi Limiti passano a:

- 95 g_{CO_2}/km entro il 2020
- 70 g_{CO_2}/km entro il 2025 (Su ciclo World Harmonized)

Il calcolo dei $[g_{CO_2}/km]$ non si effettua veicolo per veicolo ma tramite media Aritmetica sul Totale dei Veicoli Venduti.

Una volta trovato il Valore medio questo deve rispettare i limiti.

Per ogni g di CO_2 emesso in più si ha una Sanzione monetaria al Costruttore.

A partire dal 2019 per ogni g_{CO_2} in eccesso si pagherà fino a 95€ a veicolo.

Il 2019 rappresenta l'Anno di Entrata a Regime della Normativa che è in transizione dal 2012 al 2019.

Nel 2012 il calcolo complessivo si fa sul 65% delle flotta, nel 2013 il 75% e nel 2014 il 80%.

CONTESTO EUROPEO: HEAVY DUTY

Sono previsti 3 tipi di Test:

ESC → European Steady-State Cycle (a 13 punti)

ETC → European Transient Cycle

ELR → European Load Transient.

Le Normative in questo caso sono indicate con numeri Romani e le emissioni si misurano in Grammi/kWh, inoltre le prove si eseguono con motore su Banco Prova e non con veicolo sul Banco a Pulli

EUROPEAN STEADY-STATE CYCLE (ESC)

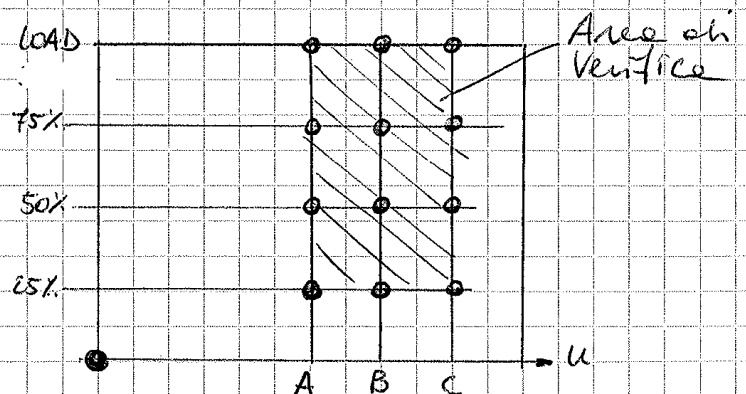
Consiste nella prova di 13 punti di funzionamento a diversi carichi e velocità. Ognuno dei quali presenta un peso diverso; l'ordine di prova dei vari p.ti è stabilito dalle Normative e vuole a misurare le Emissioni di HC; CO; NO_x espresse in g/h che poi rapporto alle Potenze erogate dal Motore nei vari p.ti ottenendo $\frac{g}{kWh}$. Le Emissioni ottenute sono complessive e ottenute mediante media pesata dei vari punti.

Si ha inoltre un'area di verifica in cui gli Adolotti alla verifica possono decidere di effettuare una prova in più punti per mascherare le Calibrations del Motore ad hoc per il ciclo.

$$A = u_{low} + 25\% (u_{high} - u_{low})$$

$$B = u_{low} + 50\% (u_{high} - u_{low})$$

$$C = u_{low} + 75\% (u_{high} - u_{low})$$



OBD NEI MOTORI BENZINA

Hanno lo scopo di Controllo:

- a) Efficienza del Catalizzatore per l'ossidazione di HC.
- b) Presenza di Accensioni Inegolar (MISFIRE)

Questo fenomeno può infatti aumentare gli HC prodotti oltre a demeragione il Conversione Catalitica

- c) Cablaggi Elettrici dei Sensori

Se il Sist. rileva un Guasto si accende una Spia che lo Segnala all'utente; il Sist. deve inoltre registrare il Codice del Guasto e memorizzarlo per essere usufruibile dalle Autorità e dalle Autofficine

OBD NEI MOTORI DIESEL

In questi motori gli OBD devono controllare:

- a) Efficienza del Catalizzatore Ossidante (DOC)
- b) Integrità del filtro Anti Particolato (DPF)
- c) Cablaggi Elettrici dei Sensori e iniettori

Per quanto riguarda l'Omologazione degli OBD questi vengono Testati manualmente in Guasto e verificando l'accensione delle Spie durante la prova NEDC.

CONTESTO NORMATIVO USA

CICLO EUIDA USA

Questo consiste di due prove di cui una a Frenoblo e una a Calolo, con un Transitorio e una Sosta a Calolo. E' un ciclo molto più aggressivo dell' NEDC e si chiama FTP 75.

Presenta una velocità massima di 60 mph e accelerazioni più aggressive con Carichi più Alte.

LIMITI EMISSIONI

Non si fanno distinzioni fra Motori Benzina e Diesel e ciò ha provocato negli USA una scarsa Penetrazione del Diesel nei mercati USA.

Esistono dei "TIER" che sono blocchi di norme e corrispondono ai nostri EURO.

All'interno del "Tier" si hanno delle categorie (8) dette BIN all'interno delle quali in Costantino decide di Omologare il Veicolo.

Il limite imposto, in termini di 100% della flotta, è rappresentato dal BIN 5.

Ovvero la media delle Emissioni della intera flotta non deve superare il Bin 5.

Si hanno inoltre anche dei limiti dopo 120.000 Miglia più restrittivi rispetto al contesto europeo.

Inoltre essendo stato federale ogni stato può introdurre le sue Normative; ad esempio la California (LEV II)

VEICOLI PESANTI

Per questi è previsto il Ciclo HD-FTP composto da:

- 1) Traffico Urbano leggero
- 2) Traffico Urbano intenso
- 3) Traffico intenso su Freeway

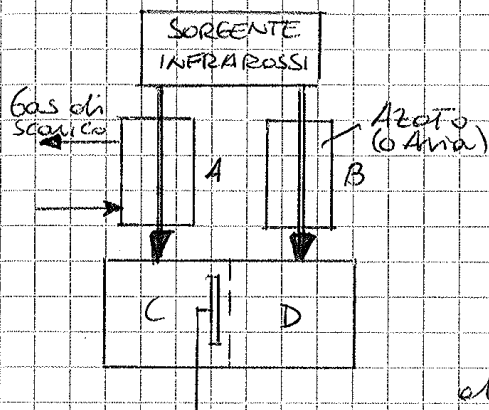
Il ciclo anche in questo caso è percorso con Motori sul Banco.

ANALIZZATORI

Gli Strumenti per la misura delle Emissioni Gassose HC , CO , NOx sostituiscono la misura in ppm mentre per il Particolato misuro in Peso.

Devo poi convertire le misure degli Strumenti e ottenere le emissioni in Grammi al Kilometro.

ANALIZZATORE NDIR (Non dispersive Infrared Detectors)



Un Gas esposto alle Radiazioni infrarosse lo Assorbe se si Trova alla Sua lunghezza d'onda e si scalda aumentando quindi la Sua Pressione.

Si ha la Sorgente a infrarossi e le Celle di misura C e D separate da una Membrana.

Si hanno poi altre 2 Celle A e B.

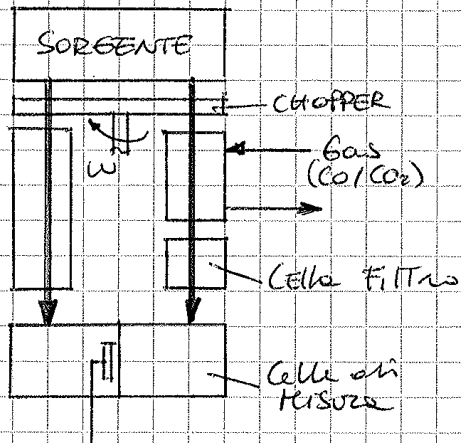
In A si hanno i Gas di Scarico e in B un Gas trasparente agli infrarossi (Azoto o Aria); invece nelle Celle C e D si ha la Sostanza che si vuole misurare.

Le Normative stabiliscono che questo Analizzatore si deve usare solo per la misura di CO e CO_2 .

Il Raggio Emesso dalla Sorgente viene diviso in 2 e attraversa i Volumi A e B trasparenti alle Estremità.

Indirettamente passando da B, trasparente, arriva alla cella D che contiene il Gas da misurare che si scalda.

Quando invece il Raggio passa da A che contiene l'inquinante vede ad esso una parte di Energia per cui il Raggio che arriva in C riesce a fornire al gas in essa meno calore e quindi il Gas in C si scalda meno di quello



Ultimo problema è:
Bisogna correlare l'Eu. Assorbite
alla concentrazione del Gas che
lo Assorbe.

$$E_{as} = E_i \left(1 - e^{-KCL} \right)$$

dove $\begin{cases} E_i = E_n \text{ incidente} \\ C = \text{Concentrazione} \end{cases}$

Tuttavia questo legame dipende da K e da L che si ottengono calibrando lo strumento allo ZERO e AL FONDO SCALA.

ZERO → Lo Valore Calibrato facendo passare nelle Cella Campione Azoto

FONDO SCALA → Lo Valore ad ottenere facendo passare nelle Cella Campione la max percentuale di Gas uscite dal Kator, in miscela ad Azoto

Tuttavia non basta per avere una Calibratura dello strumento allora devo calibrarlo in p.ti intermedie ottenuti come percentuale del Fondo Scala.

Se $KCL \ll 1 \rightarrow$ Ho Relazione lineare e quindi ho meno p.ti da trovare per la Calibratura.

Posso avere $KCL \ll 1$ con Celle Corte. che però sono un problema nel caso di concentrazioni basse.

Allora uso Cella a lunghezza variabile in base al Fondo Scala che un aspetto di trovare.

completa Assenza di idrocarburi che è ottenuta in modo sintetico.

Si utilizza per la misura degli HC, i quali loro prodotti, a seguito della combustione nelle fiamme vanno verso gli Elettrodi e generano una corrente.

Questa corrente è proporzionale alla concentrazione dell'idrocarburo misurato.

$$I = z [C_n H_m] Q$$

• $z = \alpha \cdot n$ → Risposta del FID

↳ $\alpha = \text{costante}$

$n = \text{n° Atomi di Carbonio dell'idrocarburo}$

Q deve essere costante

• Q = portata in volume del campione in gas

Proprio perché Q deve essere costante nei condotti si usano Regolatori a 2 flussi al capo dei quali si mantiene costante il Δp . Per questo motivo il FID è dotato di strozzatori calibrati.

La costante: $z \cong 1$ per Alcani, Alcheni, Aromatici, Alchini, e per la maggior parte di HC.

Nel caso in cui ho Ossigeno legato agli Atomi di Carbonio allora il mio z si riduce di molto.

L'ipotesi di funzionamento per cui la Relazione è valida è che tutte le Cariche Elettriche sono cattorate dagli Elettrodi.

Potrei infatti avere una portata troppo alta che mi lancia le cariche lontano dagli Elettrodi.

Ma potrei anche avere fenomeni di Ricombinazione Elettrica, o moltiplicazione delle cariche per Campo Elettrico troppo elevato.

I FID riscaldati a $\sim 190^\circ$ detti HFID (Heated FID) si usano soprattutto nei Diesel i cui HC sono molto pesanti. E' inoltre presente un Filtro che evita che allo strumento arrivi Particolato; anche questo Filtro è Scaldato. Generalmente la misura degli HC si effettua su Base Volumica.

ANALISI SPECIATA

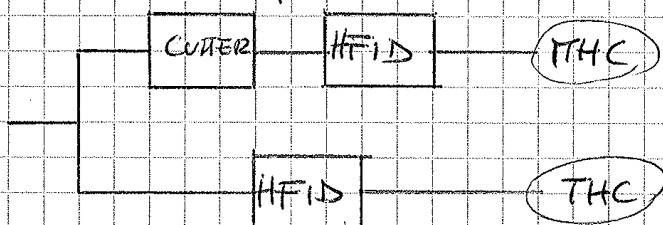
Ha lo scopo di distinguere le varie specie chimiche contenute negli HC e si effettua con Gas Cromatografo. Si usa ad esempio per i veicoli che vanno a Metano che essendo un Gas sono pericoloso. E' inoltre un'analisi che si fa per Confrontare motori a Benzina e a Metano. E' quindi un'Analisi che "compila" le misure fatte dai FID.

Noi abbiamo: $\| \text{THC} = \text{MHC} + \text{NMHC} \| \otimes$

Gli MHC vengono misurati da un Cutter che è un Tubo Riscaldato a $800^\circ + 900^\circ$ così che tutti gli HC ossidano tranne quelli Metanici (MHC).

Quindi se il Cutter si trova il FID a valle in senso, il FID misura solo il u° di MHC.

Allora se in parallelo con il FID misura gli THC



In questo modo misalgo tramite la \otimes ai NMHC.

Una configurazione dello strumento di questo tipo è poco precisa poiché nella linea del Cutter per la Calibrazione uso Metano mentre la linea dell'HFID è calibrata con Propano.

Questo tipo di strumento misura solo gli NO

Come faccio allora a misurare gli NO_x?

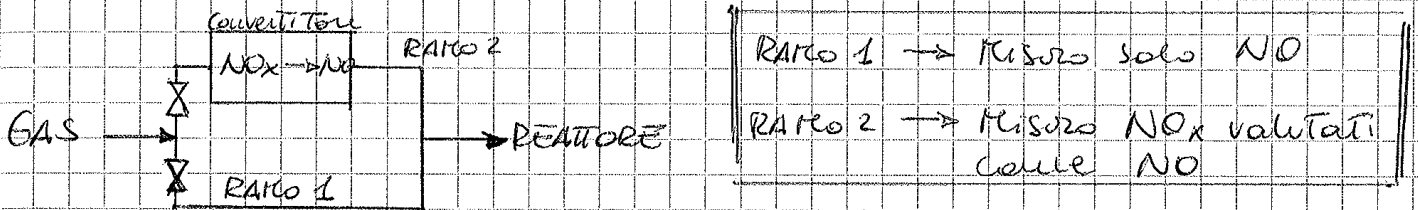
Gli NO_x sono dati dalla somma di NO e di NO₂

Se allora faccio passare le Comute di Gas in un Convertitore che mi realizza la Dissociazione di NO₂

$NO_2 \rightarrow NO + O$ in un Reattore avrò solo NO che più sono pari agli NO_x Totali

quindi in questo modo misuro gli NO_x

Se invece voglio misurare solo gli NO uso un Reattore senza Convertitore Catalitico.



L'OUTPUT restituito dallo strumento, dato dalla \otimes , è di tipo lineare per cui necessita di solo 2 punti per la Calibratura:

- ZERO → Faccio passare Azoto al posto degli NO_x
- FONDO SCALA → Faccio passare miscela di NO + NO₂ in Azoto con Concentrazione Nota.

Bisogna anche stare attenti alla Efficienza del Convertitore Catalitico.