



## MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

### Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007 prot. 2007X2TH5L

<b>1. Area Scientifico Disciplinare principale</b>	<i>09: Ingegneria industriale e dell'informazione</i>
<b>2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca</b>	<i>MORO Davide</i>
- Università	<i>Università degli Studi di BOLOGNA</i>
- Facoltà	<i>Facoltà di INGEGNERIA II</i>
- Dipartimento/Istituto	<i>Dip. ING.DELLE COSTR.MECC.,NUCL.RI,AERONAUTICHE E DI METALLURGIA</i>
<b>3. Titolo del programma di ricerca</b>	<i>Sviluppo di strategie per il controllo, la diagnosi e la gestione di motori a combustione interna per ottemperare alla normativa EURO 6</i>
<b>4. Settore principale del Programma di Ricerca:</b>	<i>ING-IND/08</i>
<b>5. Costo originale del Programma:</b>	<i>273.000 €</i>
<b>6. Quota Cofinanziamento MIUR:</b>	<i>120.000 €</i>
<b>7. Quota Cofinanziamento Ateneo:</b>	<i>51.429 €</i>
<b>8. Finanziamento totale:</b>	<i>171.429 €</i>
<b>9. Durata:</b>	<i>24 mesi</i>

## 10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo comune del programma di ricerca era centrato sullo sviluppo di azioni rivolte sia a contenere alla fonte la formazione delle emissioni nocive come pure ad assicurare il loro abbattimento prima che i gas di scarico siano rilasciati in atmosfera. Considerando la diffusione delle motorizzazioni Diesel nel campo automobilistico che ha raggiunto in Europa, ormai, la soglia del 60% delle autovetture vendute, l'obiettivo è stato rivolto principalmente alla motorizzazione Diesel e ad assicurare da una parte lo sviluppo di modelli fisici descrittivi del funzionamento del motopropulsore al fine di migliorare le prestazioni delle funzioni di gestione presenti nella centralina e dall'altro l'affinamento delle metodologie per l'incremento delle prestazioni dei dispositivi di abbattimento delle emissioni inquinanti allo scarico dei motori con il ricorso sempre più consistente a sistemi di post-trattamento dei gas di scarico quali ossidatori catalitici, trappole per gli ossidi di azoto e particolato.

In questo piano generale l'unità operativa UNINA ha avuto come obiettivo la realizzazione di una base dati sperimentale al fine di fornire le informazioni necessarie alla taratura dei modelli di simulazione. Presso il DIME è stato installato in sala prova un motore Diesel Common Rail di ultima generazione (EURO 4). Tale motore è stato strumentato con sensori di pressione veloci in camera di combustione e nei punti caratteristici dei circuiti di aspirazione e scarico per l'esecuzione delle prove sperimentali oggetto del presente progetto. Le misure istantanee di pressione sono state affiancate dall'acquisizione delle prestazioni globali del motore (emissioni inquinanti, pme, consumo specifico, ecc.) al fine di costruire una base dati del motore funzionante in condizioni di normal funzionamento (Common Rail classico) nel campo bassi carichi e limitate velocità.

L'obiettivo delle prove realizzate è stato quello di analizzare i parametri più significativi nei riguardi dell'intero sistema di scarico del motore utilizzato (Pre - Cat, Main - Cat e DPF) onde caratterizzarne il funzionamento e determinare una valida procedura di prova virtuale attraverso un codice di calcolo commerciale opportunamente tarato e validato con dati sperimentali acquisiti sul motore oggetto dello studio. A tal fine sono state eseguite delle prove sperimentali dedicate su un sistema DPF opportunamente strumentato.

Al fine di avere a disposizione una base dati sperimentali utile allo studio ed alla ottimizzazione delle strategie di controllo di tali dispositivi è stata quindi eseguita una caratterizzazione sperimentale della LNT. È stata quindi definita una procedura di test che permettesse di valutare la efficienza di accumulo degli ossidi di azoto al variare delle condizioni motoristiche.

Anche l'unità di ricerca UNICAL ha avuto come obiettivo il sistema di trattamento dei gas di scarico, proponendosi di caratterizzare fluidodinamicamente un sistema di post-trattamento prototipo per motori a combustione interna mediante l'uso sinergico di analisi numeriche e sperimentali e definire, così, un metodo per la caratterizzazione fluidodinamica di sistemi di scarico dei moderni motori a combustione interna.

Le altre due unità operative hanno indirizzato la loro attività principalmente sullo sviluppo di modelli e funzioni di centralina per migliorare la gestione del motopropulsore.

L'obiettivo dell'unità operativa UNIPR è stato la definizione di strumenti di calcolo per la modellazione dei sistemi di aspirazione e scarico di Motori a Combustione Interna (MCI) automobilistici, con specifico riferimento ai componenti in essi presenti (sistemi di sovralimentazione, scambiatori di calore, circuiti per il ricircolo dei gas di scarico -EGR). Più in particolare l'obiettivo dell'attività era la definizione di soluzioni avanzate per la simulazione e lo sviluppo di strategie di gestione del sistema preposto alla preparazione della carica introdotta nei cilindri.

Infine, l'obiettivo che l'unità di ricerca UNIBO si era posto consisteva nella progettazione, sviluppo, calibrazione e verifica di procedure di controllo e diagnosi per motori a combustione interna alternativi in generale, con particolare riferimento a quelli ad accensione per compressione, visto il loro incremento percentuale di presenza nel mercato automotive negli ultimi cinque anni. In particolare l'obiettivo principale è stato lo sviluppo di una procedura per la stima della coppia indicata erogata dal motore e della posizione angolare in cui viene bruciato il 50% del combustibile introdotto in ogni cilindro (MFB50). Queste informazioni rivestono un ruolo fondamentale nello sviluppo dei sistemi di controllo motore che dovranno equipaggiare le vetture in vista dell'applicazione delle ormai prossime normative Euro VI.

## 11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Numerosi studi hanno evidenziato che l'efficienza dei sistemi di post-trattamento è fortemente influenzata dal campo di moto all'interno del sistema di scarico, per gli effetti che esso ha sul miscelamento, sull'efficace utilizzo dell'area dei dispositivi catalitici, sul trasferimento di calore. È opinione condivisa che la temperatura ed il campo di moto all'interno del dispositivo di scarico sono fra i parametri che maggiormente influenzano l'efficacia di rimozione. Ciononostante piuttosto limitati sono gli studi presenti in letteratura che pongono particolare attenzione al reale flusso che si registra all'interno dei moderni sistemi di post-trattamento.

Nella prima fase dell'attività di ricerca è stato definito dall'unità operativa UNICAL, in collaborazione con le altre unità operative, il sistema di post-trattamento da investigare. In particolare, la scelta è ricaduta su una trappola di NOx (LNT) prototipo, le cui prestazioni sono state oggetto di indagini presso l'Unità Operativa di Napoli.

Una volta definito il sistema di post-trattamento prototipo da analizzare, si è provveduto alla riconfigurazione del banco di flussaggio esistente presso il Laboratorio di Motori a Combustione Interna dell'Università della Calabria per consentire l'analisi fluidodinamica.

In linea con il programma di ricerca, è stata eseguita, quindi, un'analisi preliminare volta a valutare la tecnica di "inseminazione" più idonea all'analisi anemometrica della trappola di ossidi di azoto. I test eseguiti al banco di flussaggio hanno evidenziato la completa compatibilità della tecnica di inseminazione basata su generatore di nebbia per "flow visualization con il sistema da studiare mentre, adoperando i microballoons, sono stati riscontrati rilevanti problemi di sporcamento degli accessi ottici e del dispositivo di post-trattamento.

Successivamente, sono state condotte le prove di flussaggio sulla trappola di NOx in condizioni di flusso stazionario.

Le prove di flussaggio e le visualizzazioni del campo di moto, condotte mediante l'uso di una telecamera ad elevata velocità, hanno evidenziato la presenza di un campo di moto piuttosto ordinato all'interno del dispositivo oggetto di indagine

Parallelamente all'attività sperimentale sono state avviate le simulazioni stazionarie monodimensionali dell'intero sistema di scarico. A tal fine, i vari componenti sono stati modellati basandosi sulle dimensioni geometriche e sulle caratteristiche fluidodinamiche registrate al banco di flussaggio. Il confronto fra risultati numerici e dati sperimentali ha evidenziato in tutte le condizioni operative analizzate un ottimo accordo.

I risultati delle simulazioni monodimensionali sono stati adoperati come condizioni al contorno per le simulazioni fluidodinamiche tridimensionali del dispositivo di post-trattamento.

Sono state realizzate, successivamente, le griglie di calcolo a partire da opportune suddivisioni del dominio in sottovolumi atti a semplificare la generazione della mesh e nel contempo ad isolare il substrato poroso, attraverso griglie di calcolo di tipo non strutturato ed ibride, composte da elementi esaedrici e tetraedrici.

I parametri di resistenza del mezzo poroso sono stati valutati grazie all'attività sperimentale al banco, consentendo l'avvio delle simulazioni in ambiente CFD.

Accanto all'analisi numerica, è stata condotta un'analisi sperimentale mediante l'uso della tecnica di Anemometria Laser Doppler (LDA). Le misure di velocità sono state eseguite a valle del mezzo poroso. In particolare l'attenzione è stata rivolta su due piani paralleli all'accesso ottico.

L'analisi fluidodinamica condotta in condizioni stazionarie ha evidenziato a monte del mezzo poroso un flusso medio ben canalizzato verso la sezione di ingresso della trappola.

Allo stesso tempo, l'analisi numerica ha mostrato che la trappola determina due principali campi di pressione a monte ed a valle del mezzo poroso. Analizzando la distribuzione di pressione in corrispondenza della sezione di ingresso e di uscita della trappola, sono state evidenziate distribuzioni pressoché uniformi, fondamentali per garantire un'elevata efficienza del sistema di filtrazione.

I rilievi anemometrici registrati a valle della trappola hanno confermato che il flusso all'interno del sistema di post-trattamento è piuttosto regolare e diretto verso il condotto di scarico. Inoltre, il confronto fra i risultati registrati sui due piani di misura ha evidenziato che la struttura del flusso medio tende a conservarsi.

Anche l'analisi delle deviazioni standard ha confermato l'esistenza di un campo di moto piuttosto ordinato. I maggiori valori sono stati riscontrati in prossimità della superficie laterale del sistema di post-trattamento, con una progressiva riduzione al crescere della distanza del punto di misura dal mezzo poroso.

Il confronto numerico-sperimentale ha evidenziato che esiste un buon accordo tra i rilievi LDA e i risultati dell'analisi CFD. Le differenze fra rilievi sperimentali e valori numerici risultano più elevate sul piano superiore ed a maggiore distanza dal condotto di scarico mentre le differenze si riducono sensibilmente nei restanti punti di misura e sul piano inferiore.

L'ultima fase dell'attività di ricerca l'analisi fluidodinamica è stata eseguita in condizioni di flusso pulsante.

In particolare, il codice fluidodinamico monodimensionale è stato adoperato per modellare l'intero banco di flussaggio in presenza del moto delle valvole e per fornire le opportune condizioni al contorno da utilizzare per le successive simulazioni tridimensionali non stazionarie della trappola di ossidi di azoto.

In condizioni di flusso pulsante, l'analisi fluidodinamica ha evidenziato campi di moto medi piuttosto ordinati e regolari.

Il confronto fra risultati numerici e rilievi sperimentali ha evidenziato un buon accordo anche in condizioni di flusso non stazionario.

È stato, infine, condotto un confronto sistematico fra i risultati registrati in condizioni stazionarie e non stazionarie. Sia l'analisi eseguita mediante visualizzazioni con telecamera ad elevata velocità che l'analisi fluidodinamica hanno mostrato che il moto delle valvole non determina evidenti variazioni della struttura del flusso medio rispetto al caso stazionario. È stato registrato un effetto di "disturbo" originato dal moto delle valvole con una riduzione delle velocità medie ed un incremento delle deviazioni standard.

L'attività di ricerca ha mostrato, quindi, che l'utilizzo congiunto di tecniche di simulazione numerica e di tecniche sperimentali è fondamentale per la piena comprensione dei fenomeni fluidodinamici che si generano all'interno di sistemi complessi. In particolare, l'uso integrato di simulazioni fluidodinamiche (monodimensionali e tridimensionali) e di tecniche di diagnostica ottica (visualizzazioni e anemometria laser) garantisce un'elevata affidabilità e flessibilità operativa. Allo stesso modo l'attività di ricerca ha evidenziato che, analogamente a quanto accade per l'analisi dei sistemi di aspirazione, i risultati registrati in condizioni di flusso stazionario consentono di fornire importanti informazioni sul campo di moto presente all'interno dei dispositivi di post-trattamento nelle reali condizioni di funzionamento.

L'unità operativa UNINA ha curato la caratterizzazione sperimentale di un moderno motore Diesel Common Rail per la realizzazione di una base dati sperimentale al fine di fornire le informazioni necessarie alla taratura dei modelli di simulazione. L'apparato sperimentale consiste in un motore Diesel Common Rail di 1910 cm<sup>3</sup> di cilindrata, in un freno elettrico (Schenk WS 260), un sistema di acquisizione dati, un sistema di misura per i gas combusti e un sistema per la calibrazione motore, capace di modificare i parametri di controllo della centralina motore (ECU).

Nel secondo anno di attività l'unità UNINA ha svolto una attività sperimentale di caratterizzazione di trappole anti-particolato (Diesel Particulate Filter - DPF) e ossidi di azoto (Lean NOx Trap - LNT). Per la caratterizzazione delle prestazioni delle trappole LNT, sono state installate sul motore 2 sonde di nuova generazione che hanno permesso la valutazione dell'efficacia di assorbimento degli NOx e dell'efficacia della strategia di ricco necessaria alla rigenerazione del dispositivo.

La prima parte dell'attività è consistita nell'allestimento di un apparato sperimentale per l'acquisizione dei dati più significativi per la caratterizzazione di un sistema di post-trattamento di gas di scarico. A tal fine è stata allestita il motore Diesel di ultima generazione con di un sistema di post-trattamento dei gas allo scarico costituito da due catalizzatori ossidanti (DOC), definiti Pre-Cat e Main-Cat, ed un filtro antiparticolato (DPF).

Il pre-catalizzatore (Pre-Cat) è costituito da canali adiacenti e paralleli al moto del flusso aventi le pareti rivestite da uno strato ad alta superficie specifica detto washcoat, che contiene dispersi i metalli nobili che hanno azione di catalizzatore.

Il catalizzatore principale (Main-Cat) è utilizzato per completare l'ossidazione delle specie prima menzionate e di innalzare ulteriormente la temperatura dei gas prima dell'ingresso nel DPF, compensando le perdite di energia termica che si hanno lungo la linea di scarico.

Avendo a disposizione i dati sperimentali relativi al funzionamento del DPF e dei catalizzatori ossidanti (pre-cat e main-cat), è stato realizzato un modello per la simulazione termo-fluidodinamica dell'intero sistema di scarico del motore mediante un codice di calcolo 1D commerciale. Avendo a disposizione tutti i dati geometrici e le caratteristiche dei componenti che costituiscono il sistema di scarico del motore in esame, ne è stato realizzato il modello.

Con il modello è stato simulato lo scambio termico della tubazione che collega il collettore di scarico al Pre-cat, il Pre-cat il Main-cat ed il DPF.

Una volta settato e tarato il modello si è proceduto alla sua validazione. Inoltre le prove sono state effettuate sia con il DPF completamente rigenerato (vuoto) e sia a valle di un ciclo di parziale riempimento, che si completava con un accumulo nel supporto pari a 30 grammi di particolato.

Il modello realizzato riesce a simulare con risultati molto soddisfacenti il funzionamento della intera linea di scarico del motore. Sia le attività sperimentali che il modello realizzato saranno quindi utilizzabili per sviluppare e migliorare gli attuali dispositivi di post-trattamento anche in vista delle future normative sulle emissioni inquinanti che, come noto, saranno ancora più restrittive.

Per la caratterizzazione sperimentale della Lean NOx Trap (LNT), sono stati installati sulla linea di scarico del motore due sensori in grado di rilevare contemporaneamente la concentrazione di ossidi di azoto (NOx) ed il valore del rapporto aria/combustibile (lambda sensor).

Uno dei sistemi più promettenti per la riduzione dei NOx dallo scarico di motori diesel, quindi funzionanti con miscela magra, è il cosiddetto "NOx-storage catalyst" anche detto Lean NOx Trap.

Il sistema in questione opera in maniera discontinua; esso consiste di una struttura monolitica rivestita di materiali che servono sia per la fase di accumulo NOx (metalli alcalini, Ba, K, Na, Mg, Ca), sia per l'azione catalizzante di ossidazione e riduzione (metalli nobili rispettivamente Pt e Rh). In condizioni di miscela magra, la NOx trap rimuove gli ossidi di azoto (NO ed NO<sub>2</sub>) dal gas di scarico e li accumula sotto forma di Nitriti e Nitrati (Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

Poiché la capacità di accumulo delle NOx Trap risulta essere limitata, sono necessarie rigenerazioni periodiche prima che ci siano fuoriuscite di NOx dalla trappola. Tali rigenerazioni avvengono tramite escursioni temporanee di miscela ricca essenzialmente attraverso due tipologie di strategie:

° nel collettore di scarico con l'adozione, in questo caso, di un iniettore aggiuntivo.

° direttamente nel cilindro

La riduzione in N<sub>2</sub> e la rigenerazione della NOx trap richiedono un ambiente riducente e quindi un livello pressoché nullo di O<sub>2</sub>. Ciò si può ottenere aumentando i livelli di EGR ed iniettando ulteriore combustibile all'interno dei cilindri per portare il rapporto aria/combustibile sino al valore stechiometrico (ovvero leggermente

al di sotto dello stechiometrico). Di contro, queste operazioni comportano elevati livelli di fumo e di soot.

Le NOx trap sono funzionanti in un range di temperature abbastanza esteso che va dai 200°C ai 500°C. Il limite inferiore di temperatura dipende dalla bassa cinetica di ossidazione di NO in NO2 alle basse temperature mentre quello superiore è determinato dall'instabilità dei nitrati, i quali, persino in condizioni di miscela magra, si possono decomporre alle elevate temperature.

Durante la periodica rigenerazione (qualche minuto circa), la conversione degli NOx è migliorata grazie ad una più alta durata di rich-spike e valori bassi di lambda, il tutto però a scapito delle emissioni di HC e CO.

La condizione di funzionamento con miscela ricca (lambda pari a circa 0,95) consiste essenzialmente nell'utilizzare una particolare strategia di iniezione (fino a cinque iniezioni per ciclo di cui due molto ritardate), utilizzare un elevato livello di EGR ed una riduzione della portata di aria aspirata mediante parzializzazione della valvola a farfalla presente sul condotto di aspirazione del motore.

Il tempo di saturazione della trappola dipende strettamente dalle condizioni motoristiche.

I risultati dell'unità operativa UNIPR hanno portato alla definizione di strumenti di calcolo per la modellazione dei sistemi di aspirazione e scarico di Motori a Combustione Interna (MCI) automobilistici, con specifico riferimento ai componenti in essi presenti (sistemi di sovralimentazione, scambiatori di calore, circuiti per il ricircolo dei gas di scarico -EGR). Più in particolare l'obiettivo dell'attività era la definizione di soluzioni avanzate per la simulazione e lo sviluppo di strategie di gestione del sistema preposto alla preparazione della carica introdotta nei cilindri.

I principali obiettivi che il programma di ricerca si proponeva di raggiungere nel corso del primo anno di attività riguardavano l'ampliamento della libreria realizzata in ambiente Matlab®/Simulink® presso l'UR di Parma per la simulazione in "real-time" del comportamento dinamico dei sistemi di aspirazione e scarico di MCI automobilistici. In particolare la prima fase dell'attività riguardava i seguenti aspetti:

° lo sviluppo e l'identificazione di modelli per la simulazione dei principali componenti di interesse, con riferimento a compressori e turbine per sovralimentazione, compresi i relativi dispositivi di regolazione, circuiti per il ricircolo dei gas di scarico, collettori, interrefrigeratori ed EGR-coolers;

° la definizione di criteri per l'applicazione dei modelli della libreria alla realizzazione di modelli dinamici "real-time" dei circuiti di aspirazione e scarico e dei sottosistemi in essi presenti (sistema di aspirazione e di scarico, sovralimentatore, interrefrigeratore, circuito EGR con EGR-cooler, dispositivi VVT/VVA), con particolare riguardo alla causalità;

° l'applicazione di metodologie per la identificazione di modelli di tipo "black-box" per la caratterizzazione di specifici componenti;

° la realizzazione di procedure automatiche per l'identificazione dei modelli sviluppati a partire dai rilievi sperimentali effettuati presso l'industria e presso le altre UR;

° la verifica dei modelli realizzati sulla base di rilievi sperimentali effettuati presso l'industria e presso le altre UR.

Gli obiettivi previsti per il secondo anno di attività erano relativi alla applicazione degli strumenti di simulazione realizzati nel primo anno per la costruzione di modelli "real-time" di motori automobilistici e per lo sviluppo di metodologie per la definizione di strategie di controllo motore. In particolare la seconda fase dell'attività riguardava i seguenti punti:

° l'applicazione della libreria alla realizzazione di un modello dinamico complessivo per la simulazione del sistema di aspirazione e scarico di un motore dotato di turbosovralimentatore (con turbina a geometria variabile), circuito EGR (alta e bassa pressione) con EGR-cooler e sistemi per la variazione della fasatura delle valvole (VVT/VVA);

° lo sviluppo di una procedura più avanzata per l'identificazione e la simulazione del comportamento del compressore e della turbina di sovralimentazione che tenga conto delle reali condizioni operative su motore (pulsazioni di pressione);

° la definizione di un nuovo modello "black-box" per la stima della massa di fluido che entra nel cilindro nella fase di ricambio della carica attraverso l'identificazione di una opportuna mappa del coefficiente di riempimento e di adeguati fattori correttivi (ciò per estendere la validità dell'attuale modello anche ai casi in cui venga usato il ricircolo "esterno" dei gas di scarico e per valutare la massa di gas residui in camera di combustione);

° lo sviluppo di un modello "crank-angle" dei processi all'interno del cilindro e della combustione ed integrazione nel modello del sistema di aspirazione e scarico;

° la definizione (di concerto con l'UR di Bologna) di strategie di gestione e diagnostica (sia "open loop" che "closed-loop") che possono essere utilizzate per il controllo della carica (in termini di temperatura, pressione, composizione);

° l'integrazione degli algoritmi realizzati con le strategie di controllo dell'iniezione sviluppate presso l'UR di Bologna e della Calabria e trasferimento delle strategie così definite all'UR di Bologna per le verifiche sperimentali su motore.

Nello sviluppo dell'attività, tuttavia, a seguito di specifiche esigenze manifestate da alcune Aziende (in particolare Fiat Powertrain Technology - R&D, e Magneti Marelli Powertrain) in luogo degli ultimi due punti precedentemente elencati, si è proceduto alla realizzazione ed all'applicazione di due modelli "real-time" di due tipologie di motori automobilistici Diesel Common Rail, sovralimentati e dotati di sistemi di ricircolo dei gas di scarico, a sistemi Hardware-in-the-Loop (HiL) utilizzati per la progettazione e la verifica di strategie di controllo motore.

L'attività di ricerca che era stata programmata dall'unità di ricerca dell'università di UNIBO è stata sviluppata seguendo le tempistiche che erano state indicate al momento della presentazione del progetto, con qualche scostamento e piccola variazione.

La procedura per la stima della coppia indicata erogata dal motore necessita di una fase di apprendimento della funzione di trasferimento tra la coppia istantanea, determinata a partire dalla misura della pressione nei cilindri, e la velocità istantanea, acquisita mediante il sensore affacciato alla ruota fonica dell'albero motore. In particolare la funzione di trasferimento correla le ampiezze delle armoniche di combustione dei due segnali, coppia istantanea e velocità istantanea. Nota l'ampiezza della armonica di combustione della coppia si può risalire alla coppia media con una correlazione che dipende dalla condizione di funzionamento del motore (velocità, pressione nel collettore, egr, ...).

Diverse campagne sperimentali sono state effettuate anche in presenza di sistemi di trasmissione con differenti elementi per acquisire una sufficiente conoscenza del comportamento della drive-line. Questa fase viene eseguita su un motore prototipo al banco per poi essere implementata nelle centraline dei motori della stessa famiglia su cui verrà utilizzata la funzione. Nella fase operativa dalla misura si utilizza solo il sensore di velocità per determinare l'ampiezza dell'armonica di combustione della fluttuazione di velocità, dalla quale estrarre l'armonica della coppia indicata tramite la funzione di trasferimento e poi, mediante la correlazione predetta, determinare la coppia media erogata.

Nel corso dell'attività è stato affrontato, in particolare, il problema di eliminare il contributo sulla coppia dell'azione dovuta alle forze d'inerzia. Una loro determinazione analitica risente delle variazioni di massa che possono verificarsi sul manovellismo a causa principalmente del deposito di parti carboniose sul cilindro, con modifica del valore della massa e introduzione di errore nella stima. Per ovviare a questo effetto si deve ricorrere a una procedura adattativa che permette di aggiornare il comportamento del motore dal punto di vista delle forze inerziali, basata sull'acquisizione della velocità istantanea durante una fase di rilascio, nella quale non è presente il contributo dei gas di combustione sui cilindri in quanto la combustione non è presente.

Nel dettaglio si procede alla determinazione dell'ampiezza della coppia indicata dopo aver eliminato il contributo della coppia in motoring (motore trascinato); questo richiede di sottrarre dall'andamento della velocità istantanea acquisita dal sensore sulla ruota fonica l'andamento della velocità in rilascio. Questo andamento viene aggiornato durante la vita del motore durante i rilasci, così da tenere conto anche dell'effetto dell'invecchiamento del motore stesso durante la sua vita.

Questa metodologia è particolarmente importante perché consente la stima della coppia indicata realmente prodotta dal motore, in quanto si basa sull'analisi del segnale dell'effettiva velocità di rotazione istantanea che si produce sul motore a seguito della combustione che avviene sui cilindri del motore e non sulla stima della coppia basata sulla conoscenza dei parametri motoristici che concorrono a realizzare la carica di aria e combustibile che brucerà in camera, e quindi rappresenta l'ideale segnale di chiusura dell'anello di controllo in coppia del funzionamento del motore, che può essere utilizzato anche ai fini diagnostici per verificare la reale erogazione di coppia rispetto alle aspettative definite dalla logica di centralina.

Per determinare invece la posizione angolare relativa al 50% della massa di combustibile bruciato si è considerato il legame tra la fase dell'armonica della velocità istantanea e la posizione stessa dell'MFB50 determinata dalla misura della pressione che permette di risalire al calore netto rilasciato e quindi alla stima della grandezza ricercata. Questa funzione è determinante nell'ottimizzare la fase di combustione perché la posizione angolare in cui si ha la combustione del 50% del combustibile presente nel motore permette di verificare l'efficacia della combustione stessa e di controllare anche le emissioni nocive a causa dello stretto legame che esiste tra il livello di temperatura che si raggiunge nel cilindro, l'efficienza termodinamica del processo di combustione e il livello di inquinanti che si formano. In prospettiva futura la possibile introduzione di combustioni tipo HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) impone la necessità di avere uno strumento che sia in grado di poter monitorare la posizione del MFB50 in quanto la gestione di dette combustioni non è diretta come nell'iniezione Diesel o nell'accensione della miscela tramite la candela come nei motori ad accensione comandata, ma affidata al verificarsi delle condizioni di autoaccensione a causa dell'accrescersi della temperatura e pressione durante la fase di compressione che provocano con particolari meccanismi chimici l'accensione spontanea della massa del combustibile presente in camera di combustione. Sarà quindi indispensabile avere uno strumento in grado di poter individuare la posizione angolare in cui la combustione si realizza, combustione che normalmente avviene in pochi gradi di rotazione proprio per la sua caratteristica di interessare istantaneamente tutta la massa di combustibile. La conoscenza della posizione angolare in cui avviene la combustione permette quindi di agire attraverso parametri indiretti che influiscono sulle condizioni termodinamiche che si realizzano nel cilindro durante la fase di compressione, quali l'egr ricircolato, la fasatura d'a...

## 12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Non sono stati riscontrati particolari problemi durante le attività dell'intero progetto da parte delle unità operative, fatta eccezione di piccoli inconvenienti dovuti essenzialmente alle tipiche problematiche che si verificano nello svolgimento delle attività di tipo sperimentale.

## 13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo)
<b>TOTALE</b>	<b>120</b>
da personale universitario	120
altro personale	95
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	36

## 14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

### Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	16	5	Partecipazione ai congressi nazionali in cui sono presenti sessioni di carattere motoristico nelle quali sono stati presentati i risultati parziali dei risultati ottenuti nel corso del progetto
all'estero	13	3	Partecipazione ai congressi internazionali, alcuni dei quali di primissimo piano nell'ambito mondiale come i congressi SAE, ASME e IFAC, in cui sono presenti sessioni di carattere motoristico nelle quali sono stati presentati i risultati parziali dei risultati ottenuti nel corso del progetto
<b>TOTALE</b>	<b>29</b>	<b>8</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

### Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	0	
su riviste straniere con referee	7	<p>E. Corti, D. Moro (2008). Knock Indexes Threshold Setting Methodology. SAE Transactions, vol. 116; p. 1016 - 1025, ISSN: 0096-736X</p> <p>N. Cavina, D. Moro, L. Poggio, D. Zecchetti, R. Nanni, A. Gelmetti (2008). Individual Cylinder Combustion Control Based on Real-Time Processing of Ion Current Signals. SAE Transactions, vol. 116; p. 1025 - 1034, ISSN: 0096-736X</p> <p>F. Ponti, G. Serra, S. Lupo; 2009; Powertrain Torsional Model Development for On-Board Indicated Torque Estimation; Rivista: Sae International Journal Of Passenger Cars. Electronic And Electrical SYSTEMS; Volume: 1; pp.: 446 - 456; ISBN: 1946-4614</p> <p>Piccione R, Vulcano A, Bova S. (2010). A Convective Mass Transfer Model for Predicting Vapor Formation Within the Cooling System of an Internal Combustion Engine After Shutdown. Journal Of Engineering For Gas Turbines And Power, vol. 132 (Feb 2010), ISSN: 0742-4795</p> <p>Piccione R, Bova S. (2010). Engine Rapid Shutdown: Experimental Investigation on the Cooling System Transient Response. Journal Of Engineering For Gas Turbines And Power, vol. 132 (July 2010), ISSN: 0742-4795</p> <p>Algieri A, Amelio M, Bova S., Morrone P (2010). Energy Efficiency Analysis of Monolith and Pellet Emission Control Systems in Unidirectional and Reverse-Flow Designs. SAE International Journal Of Engines, vol. 2; p. 684-693, ISSN: 1946-3936</p> <p>Gambarotta A., Lucchetti G (2009). "Turbocharger modelling in MVEMs for real-time simulation of transient behaviour of automotive engines". In: 9th Stuttgart International Symposium on Automotive and Engine Technologies. Stuttgart (Germany), 24-25/11/2009, Stuttgart: ATZ/MTZ/VKU - Automotive Engineering Magazine, p. 585-594</p>
su altre riviste italiane	0	
su altre riviste straniere	0	
comunicazioni a	16	I.Vaja, Gambarotta A. (2010). Dynamic Model of an Organic Rankine Cycle System. Part I - Mathematical Description of Main Components. In: Proceedings ECOS 2010. Lausanne, June 2010, Lausanne

<b>convegni/congressi internazionali</b>		<p><i>I.Vaja, Gambarotta A. (2010). Dynamic Model of an Organic Rankine Cycle System. Part II - The full Model: Description and Validation. In: Proceedings ECOS 2010. Lausanne, June 2010, Lausanne</i></p> <p><i>Gambarotta A., G.Lucchetti, M.Taburri, I.Vaja (2010). Mean Value Modeling of intake and exhaust systems of automotive engines: models identification and related errors. In: Proceedings. Stoccarda, marzo, vol. 1, p. 467-488</i></p> <p><i>Gambarotta A., G.Lucchetti, M.Taburri, I.Vaja (2009). A simplified Mean Value Model of the combustion process for the simulation of Energetic Systems. In: Proceedings. Rio de Janeiro, agosto 2009</i></p> <p><i>Gambarotta A., G.Lucchetti, P.Fiorani, M.De Cesare, G.Serra (2009). A thermodynamic Mean Value Model of the intake and exhaust system of a turbocharged engine for HiL/SiL applications. In: Proceedings, 13-17/9/09, p. 1-9</i></p> <p><i>Gambarotta A., Lucchetti G (2008). A real-time model for the simulation of steady and transient behaviour of automotive engines. In: Conference Proceedings "Advances in Hybrid Powertrains" Rueil-Malmaison (Paris), 25-26/11/2008, Rueil-Mailmaison (Parigi): Institute Francaise du Petrol, p. 1-11</i></p> <p><i>Barbarelli S, Bova S., Piccione R (2010). A Model Investigation on the Pressure Transducer Dynamics for Measurements in Lubricating Vane Pumps: Influence of Dissolved Air and of Transducer/Tubing Geometry. In: SAE paper n. 2010-32-0059. Linz, Austria</i></p> <p><i>S. Barbarelli, Bova S., R. Piccione (2009). Zero-dimensional Model and Pressure Data Analysis of a Variable-Displacement Lubricating Vane Pump. In: SAE paper n. 2009-01-1859. Florence, ITALY, June 2009SAE International</i></p> <p><i>Algieri A, Amelio M, Bova S., Morrone P (2008). Active and Passive Aftertreatment Systems: A Numerical Analysis of Energetic Performances. In: Proceedings of "International Conference on Automotive Technologies - ICAT 2008". Istanbul (Turkey), 13-14 November</i></p> <p><i>Corti E., Migliore F., D. Moro, Capozzella P., Pagano M. (2009). Development of a Control-Oriented Model of Engine, Transmission and Vehicle Systems for Motor Scooter HiL Testing. In: SAE 2009 International Powertrains, Fuels &amp; Lubricants Meeting, Firenze, 15-17 Giugno 2009, Warrendale, PA: SAE International, vol. 1, p. 1 - 12, ISBN/ISSN: 978-0-7680-2166-0</i></p> <p><i>E. Corti, D. Moro, L. Solieri (2008). Measurement Errors in Real-Time IMEP and ROHR Evaluation. In: Electronic Engine Controls, 2008 (SP2159). Detroit, 14-17/04/2008, Warrendale, PA: SAE International, p. 1 - 13, ISBN/ISSN: 978-0-7680-2001-4</i></p> <p><i>F. Ponti, G. Serra, M. De Cesare, F. Stola; 2009; MFB50 Evaluation from Instantaneous Engine Speed Measurement; Powertrain Control Systems for Motor Vehicles, 7TH IAV Symposium</i></p> <p><i>F. Ponti, V. Ravaglioli, G. Serra, F. Stola; 2009; Instantaneous Engine Speed Measurement and Processing for MFB50 Evaluation; SAE 2009 Powertrains Fuels and Lubricants Meeting. San Antonio, TX. November 2009</i></p> <p><i>A. Senatore, M. Cardone, D. Buono, V. Rocco (2008). Combustion Study of a Common Rail Diesel Engine Optimized to be Fueled with Biodiesel. Energy &amp; Fuels, vol. 22; p. 1405-1410, ISSN: 0887-0624</i></p> <p><i>M. Cardone, A. Senatore, D. Buono, G. Cipolla, A. Chianale, A. Leo (2009). Lean NOx Trap Aftertreatment Technology Impact on Engine Oil Dilution. In: 9th International Conference on Engines &amp; Vehicles - ICE2009. Capri, Naples (Italy), September 13-17, 2009, p. 1-8</i></p> <p><i>A. Senatore, M. Cardone, P. Iodice, M. Migliaccio (2010). Emission inventory for the road transport sector in the urban area of Naples: methodology and results. In: S. Morrison, G.M. Monzón. Alliance for Global Sustainability Bookseries. vol. 17, p. 430-439, Hardcover: Springer, ISBN/ISSN: 978-90-481-3042-9</i></p>
<b>comunicazioni a convegni/congressi nazionali</b>	4	<p><i>C. Forte, G.M. Bianchi, E. Corti, S. Fantoni; 2009; Analysis of the Influence of Mixture Composition on Cycle by Cycle variability of an High Performance Engine; 64° Congresso ATI. 64° Congresso ATI. L'Aquila</i></p> <p><i>Algieri A, Bova S., De Bartolo C, Nigro A (2010). Analisi numerico sperimentale del campo di moto all'interno di una trappola di ossidi di azoto per motori Diesel. In: Proceedings of "65° Congresso Nazionale ATI". Cagliari (Italy), 13-17 Settembre 2010</i></p> <p><i>M. Cardone, A. Senatore, D. Buono (2008). Caratterizzazione di un sistema di post trattamento di gas di scarico di un MCI. In: Mismac X - Metodi di Sperimentazione sulle Macchine. Napoli, 28 marzo 2008, p. 1-8</i></p> <p><i>A. Senatore, M. Cardone, P. Iodice, M.No Migliaccio (2009). Valutazione delle emissioni inquinanti derivanti dal trasporto stradale in campania nel 2007: metodologia, risultati e proiezione di uno scenario futuro. In: 64° Congresso Nazionale ATI. L'Aquila, Settembre 2009, p. 1-10</i></p>
<b>rapporti interni</b>	0	
<b>brevetti depositati</b>	0	
<b>TOTALE</b>	<b>27</b>	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.