

Manuale Utente di Forte 4T V1.1

Indice

CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE

1. REQUISITI DI SISTEMA

2. ESECUZIONE DI Forte 4T

3. IL MENU DI Forte 4T

3.1 FILE

3.2 UTILITA'

3.3 RISULTATI

3.4 HELP

3.5 ESCI

4. L'EDITOR

4.1 DATI DI BASE

4.2 PARAMETRI COMBUSTIBILE

4.3 COMBUSTIONE

4.4 PARAMETRI SIMULAZIONE

4.5 GEOMETRIA DELLE VALVOLE

4.6 CONDOTTO DI ASPIRAZIONE

4.7 CONDOTTO DI SCARICO

4.8 ESECUZIONE DELLA SIMULAZIONE

4.9 SALVATAGGIO DEL PROGETTO

4.10 MENU' PRINCIPALE

4.11 STAMPA PROGETTO

5. RISULTATI

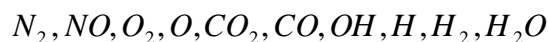
6. GLOSSARIO

CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE

Forte 4T è un software per la simulazione di motori a 4 tempi ad accensione comandata; esso è in grado di stimare le prestazioni dei suddetti motori ed è quindi un ottimo strumento sia in fase di progettazione che per effettuare delle modifiche che ne influenzino le caratteristiche. L'utilizzo del programma è molto semplice e permette la visualizzazione di moltissime variabili motoristiche di interesse nel campo dei motori a combustione interna. Infatti si hanno a disposizione più di 60 grafici per ogni simulazione, in modo tale che ogni parte del motore può essere osservata adeguatamente: i vantaggi di Forte 4T sono quindi quelli di poter studiare ed ottimizzare i motori a 4 Tempi potendo avere delle informazioni che per via sperimentale non si possono facilmente ottenere. Tali risultati possono essere stampati come 'Files' in modo da poter essere utilizzati come dati di ingresso per altri programmi ed anche in formato di testo '.txt' facilmente esportabili e stampabili.

Brevemente le caratteristiche tecniche di Forte 4T sono:

- modello della combustione “a due zone”; durante la fase di combustione il gas presente nel cilindro viene ipotizzato composto da due componenti : la miscela ed i prodotti della combustione. Tali prodotti della combustione vengono ipotizzati essere in equilibrio chimico, mentre la miscela si ritiene essere a composizione costante. La legge di combustione è quella di Wiebe;
- Modello di Annand per lo scambio termico tra il gas che lavora nel cilindro e le sue pareti ; anch'esso suddiviso in 'due zone';
- Modello per il calcolo della perdita di massa attraverso le fasce elastiche durante le fasi di compressione, combustione ed espansione;
- Calcolo dell'equilibrio chimico dei prodotti della combustione: si prendono in considerazione i 10 composti chimici , che sono:



- Modello monodimensionale per i condotti di aspirazione e scarico: il modello utilizzato è “Two Step Lax-Wendroff “ +TVD, in cui si tiene conto della variazione di sezione, delle perdite di attrito, scambio termico, variazione delle proprietà termodinamiche dei gas e della sua composizione;
- Modello monodimensionale degli estremi dei condotti; viene usato il metodo 'CIR', e la soluzione viene calcolata in ogni istante tramite sistemi di equazioni non lineari invece di caricare soluzioni da disco;
- Mappe tridimensionali per i coefficienti di efflusso delle valvole di aspirazione e scarico; tali coefficienti, come è noto, dipendono sia dal alzata della valvola, sia dal rapporto delle pressioni a monte e a valle di essa.
- Miscelazione omogenea durante al fase di incrocio delle valvole (lavaggio);
- Modello per il calcolo dell'indice di Detonazione.

In questa versione è possibile simulare le seguenti tipologie di motori :

- motori mono-cilindrici o motori con i cilindri fluidodinamicamente indipendenti, ossia non ci sono giunzioni o connessioni tra condotti di cilindri diversi;
- motori con 2 o più valvole per cilindro ;
- Anticipo all'accensione variabile con il numero di giri;
- Rapporto aria-combustibile variabile con il numero di giri;
- Anticipo apertura valvola di aspirazione variabile con il numero di giri;
- Anticipo apertura valvola di scarico variabile con il numero di giri;
- Volume in aspirazione: assimilabile all' "AIR BOX" oppure al volume dove in genere è situato il filtro dell'aria;
- Volume allo scarico;
- 8 diverse tipologie di combustibile :

OTTANO; H/C=2.25 ;Rapporto stechiometrico=15; numero di ottano=100

BENZINA VERDE; H/C=1.65; Rapporto stechiometrico=14.37; numero di ottano=96

BENZINA SUPER; H/C=1.87 ; Rapporto stechiometrico=14.64 numero di ottano=98

METANO; CH₄; Rapporto stechiometrico=17.23; numero di ottano=120

PROPANO; C₃H₈; Rapporto stechiometrico=15.67; numero di ottano=112

METANOLO; CH₄O ; Rapporto stechiometrico=6.47 numero di ottano=106

ETANOLO; C₂H₆O ; Rapporto stechiometrico=9 numero di ottano=106

IDROGENO; H₂ ; Rapporto stechiometrico=34.07 numero di ottano=112

- Carico parzializzabile.

1. REQUISITI DI SISTEMA

I requisiti minimi per poter installare ed utilizzare Forte 4T sono:

- IBM PC compatibile;
- Lettore CD;
- Scheda grafica a 256 colori con risoluzione 800x600
- Browser Internet Explorer 4 o superiore.
- 13 Mb di spazio libero su disco rigido

Forte 4T può essere eseguito sulle versioni di WINDOWS 95,WINDOWS 98,WINDOWS ME,WINDOWS 2000,WINDOWS XP.

Per un buon utilizzo del programma si raccomanda comunque un PC con processore Pentium III o superiore, 128 Mb di memoria RAM, naturalmente con PC ancora più veloci si hanno tempi di esecuzione più brevi.

2. ESECUZIONE DI Forte4T

Per eseguire Forte 4T bisogna cliccare sull'icona 'Forte4T' nel menù Start → Programmi → RTZ-Soft . Una volta avviato, verrà chiesto di effettuare la registrazione (se non è già stata fatta). Per effettuarla è necessario acquistare il programma e inviare il codice del software: tale codice va inviato a info@rtz-soft.com o telefonare a 328-2924633.

La RTZ-soft invierà poi il numero di serie ed il programma sarà così completamente funzionante

Nel caso in cui non si registri il programma, verrà eseguita soltanto una versione limitata in cui non sarà possibile effettuare delle simulazioni, ma soltanto una dimostrazione di esso.

Per non avere problemi con l'utilizzo del programma, si consiglia di convertire il separatore decimale da " , " (virgola) a " . " (punto). Questo si può fare andando nel pannello di controllo di windows --> opzioni internazionali e della lingua e lì nella sezione ' numeri ' fare questa operazione.

3. IL MENU DI Forte 4T

La barra dei menù, situata in alto a sinistra della finestra principale contiene 4 opzioni: File, Utilità, Risultati, Esci, che verranno di seguito spiegate.

3.1 FILE

Cliccando sul menù **FILE** si possono selezionare le seguenti opzioni:

3.1.1 Nuovo Progetto:

Con questa opzione si aprirà un progetto vuoto in cui si potranno specificare tutte le dimensioni del motore in esame: si apriranno varie finestre ed all'interno di esse si inseriranno i valori necessari per condurre una simulazione. Se non si inseriscono tutti i valori o se non sono stati inseriti valori ragionevoli, il programma avviserà l'utente al momento della chiusura di ogni finestra; in maniera analoga , quando si deciderà di far partire la simulazione il programma vi avviserà di eventuali valori omessi o non ragionevoli.

3.1.2 Apri Progetto esistente:

Cliccando su questa opzione si aprirà una finestra in cui bisognerà specificare progetto esistente precedentemente creato da Forte 4T ; tale file ha una estensione “.dat”.

3.1.3 Esci dal programma:

Cliccando su questa opzione verrà chiesto successivamente di uscire dal programma e, se questa è l'azione desiderata, bisognerà cliccare su “OK” per uscire definitivamente

3.2 UTILITA'

In questo menù appariranno tre opzioni il cui ruolo è quello di fornire degli strumenti per la costruzione del progetto. In particolare :

- **Posizione pistone e gradi manovella:**

Cliccando su questa opzione si aprirà una finestra in cui è possibile, a partire dalla conoscenza della geometria del manovellismo, ricavare il valore dello spostamento del pistone in mm. conoscendo l'angolo di manovella e viceversa. Questo risulta particolarmente utile se ad esempio si conosce il valore dell'anticipo del motore in mm. dal PMS e si vuole calcolare lo stesso in gradi prima del PMS; è possibile anche l'operazione opposta.

I valori di ingresso per questi calcoli sono:

la corsa del motore;

la lunghezza della biella;

Disassamento pistone.

I valori di uscita invece sono:

Lo spostamento del pistone in mm.: (se si conosce l'angolo di manovella) oppure gli angoli rispetto allo spostamento del pistone;

Il raggio di manovella : se il disassamento risulta diverso da zero il raggio di manovella non è più la metà della corsa, quindi anche questa può essere una informazione utile;

Angolo del PMS rispetto alla verticale : se il disassamento è diverso da zero il PMS si sposterà rispetto all'angolo zero (ovvero l'angolo per cui si avrebbe il PMS con disassamento nullo).

Angolo del PMI rispetto alla verticale : Allo stesso modo come sopra.

- **Crea file profilo alzata valvola:**

Forte 4T dispone di un metodo sufficientemente comprensivo di molti dei più diffusi profili di alzata valvola. Se però si dispone di un profilo particolare da testare, è possibile crearlo nel programma nella finestra che si aprirà dopo aver cliccato su 'Crea file profilo alzata valvola' .

In questa finestra si specificherà il profilo di alzata valvola per punti, ossia per ogni grado (frazione di grado o più gradi) di manovella si inserirà il valore dell'alzata in mm..

il profilo si comincia a scrivere dall'angolo zero, ossia il momento in cui la valvola comincia ad alzarsi coincide con lo zero.

Prima di cominciare a scrivere tali valori bisogna specificare quanti punti si vorranno inserire.

Ci sono poi due strumenti che tentano di facilitare la creazione di un file di alzata valvola:

il primo genera, a partire dal numero di punti che si vuole specificare e dall'incremento angolare prescelto, tutta la colonna che rappresenta gli angoli;

il secondo, a partire da un profilo già specificato, permette di modificare l'alzata massima della valvola.

Il progetto va poi salvato per poter essere utilizzato successivamente dal simulatore , premendo sul pulsante 'Salva file'

E' possibile anche aprire un file esistente per poterlo modificare premendo sul pulsante 'Apri file'.

Per chiudere l'Utility basta cliccare su 'Menù principale' .

E' possibile poi anche visualizzare un grafico con il profilo creato e vedere se esso è stato scritto correttamente o se corrisponde al profilo che si intendeva creare.

- **Crea file coefficienti di efflusso**

Forte 4T dispone di molti file di configurazione di coefficienti di efflusso ; tuttavia se si dispone di mappe specifiche di un motore, è possibile creare i file per poterli poi inserire nel simulatore con l'utilità 'Crea file coefficienti di efflusso'.

All'interno di tale finestra, ci sono:

- una griglia in cui si inseriscono i coefficienti di efflusso per il moto 'da condotto a cilindro' (aspirazione);
- una griglia in cui si inseriscono i coefficienti di efflusso per il moto 'da cilindro a condotto' (scarico);
- un campo in cui bisogna inserire il numero di punti in cui si vuole specificare il rapporto 'Alzata valvola/Alzata massima';
- un campo in cui bisogna inserire il numero di punti in cui si vuole specificare il rapporto 'Pressione a monte/Pressione a valle'.

Con questi strumenti è possibile creare facilmente la propria mappa dei coefficienti di efflusso.

Per modificare invece soltanto alcuni valori di una mappa esistente (caricata con il pulsante 'Apri file') è sufficiente cliccare sul campo desiderato e, al di sotto della griglia, cambiare il valore contenuto nella casella, dopo di che cliccare su 'Modifica'.

Per chiudere l'Utility basta cliccare su 'Menù principale' .

3.3 RISULTATI

All'interno di questo menù abbiamo le seguenti opzioni:

Visualizza grafici simulazione:

Cliccando su questa opzione sarà possibile visualizzare i risultati della simulazione in modalità grafica: al termine di ogni simulazione Forte 4T creerà un file di tipo '.out', ossia un file che contiene i risultati che possono essere visualizzati come grafici .

Verrà per prima cosa chiesto quale file '.out' aprire e, subito dopo, appariranno una serie di grafici sulla finestra principale di Forte 4T e una serie di pulsanti che permetteranno la visualizzazione di schermate ,ognuna con un diverso set di grafici. Per maggiori dettagli si rimanda al cap.5.

Visualizza risultati in modalità testo:

Cliccando su questa opzione sarà possibile visualizzare i risultati della simulazione in modalità testo. Nella stessa maniera dei risultati in forma grafica, Forte 4T creerà dei files '.txt' che contengono i risultati della simulazione in forma di testo e che vengono poi visualizzati nella finestra principale del programma.

Dopo aver specificato il file '.txt' da aprire, sullo schermo apparirà una finestra che contiene in formato di testo tutte le informazioni di uscita da una simulazione. Facilmente consultabile e stampabile tramite un pulsante situato in alto a destra nella finestra principale.

Unità di misura:

In Forte 4T è possibile anche variare l'unità di misura di presentazione dei risultati; permettendo così di scegliere, da parte dell'utente finale, l'unità di misura desiderata.

I parametri che si possono personalizzare sono:

- **Potenza:**

Le unità di misura possibili sono :

Kilowatt (Kw);

Cavalli (Cv);

- **Coppia:**

Le unità di misura sono:

Newton x metro (Nm);

Kilogrammi x metro (Kgm)

- **Pressione:**

Le unità di misura sono:

Pascal (Pa);

Bar ;

- **Temperatura:**

Le unità di misura sono:

Kelvin (K);

Celsius C .

3.4 HELP

Manuale:

Con questa opzione si visualizzerà la presente guida. Per ulteriori informazioni sulle caratteristiche di Forte 4T consultare il sito web www.rtz-soft.com oppure inviare una e-mail a info@rtz-soft.com.

Informazioni su:

In questa finestra vengono visualizzate le informazioni relative alla versione del programma e al sito web dove poter trovare delle informazioni ulteriori sul software e come contattare l'autore.

3.5 ESCI

Cliccando su questa opzione , si aprirà una finestra in cui verrà chiesto di uscire dal programma ed è esattamente equivalente all'opzione 'Esci da Forte 4T' del menù 'File'.

4. L'EDITOR

L'editor è la finestra fondamentale sia per l'inserimento e modifica dei progetti , sia per la creazione dei file di risultati.

Al suo interno i dati di un motore vengono suddivisi in vari gruppi che di seguito verranno riportati e spiegati; c'è poi uno spazio per scrivere i commenti al tipo di motore in questione, ad esempio le modifiche apportate ecc. e anche i pulsanti come quelli per effettuare la simulazione, salvataggio e stampa dei progetti.

4.1 DATI DI BASE

Cliccando sul pulsante 'Dati di base' si aprirà una finestra in cui si potranno specificare le dimensioni di base del motore in esame.

I valori da inserire sono :

- **Numero dei cilindri:**

come già detto in precedenza, Forte 4T può simulare motori multicilindrici che non hanno connessioni fluidodinamiche e se nel caso vi siano più cilindri , in questo campo si può specificarne il numero;

- **Alesaggio mm.:**

In questo campo si inserirà l'alesaggio in mm.;

- **Corsa mm.:**

in questo campo si inserirà la corsa del motore in mm.;

- **Biella mm.:**

In questo campo si inserirà la lunghezza della biella in mm.;

- **Disassamento mm.:**

se il motore presenta un disassamento tra l'asse del pistone e dell'albero motore , qui si potrà inserirne il valore;

- **Volume camera combustione cc.:**

In questo campo va inserito il valore del volume della camera di combustione. Non va tenuto conto quindi del volume della filettatura della candela;

C'è poi uno strumento utile per il calcolo di tale valore conoscendo la cilindrata unitaria e il rapporto di compressione; questo per facilitare l'operazione di inserimento dati;

Per tornare indietro nell'editor poi basterà cliccare su 'Indietro', Forte 4T farà quindi una verifica dei dati inseriti e riporterà eventuali errori, mentre se si vuole tornare nel menù principale senza aver completato tutti i campi, bisognerà cliccare su 'Menù principale'. In questo caso verranno perse tutte le modifiche effettuate dall'ultimo salvataggio.

4.2 PARAMETRI COMBUSTIBILE

All'interno di questa finestra si specificheranno le variabili più importanti relativi al combustibile che viene utilizzato e in particolare :

- **Tipo di combustibile :**

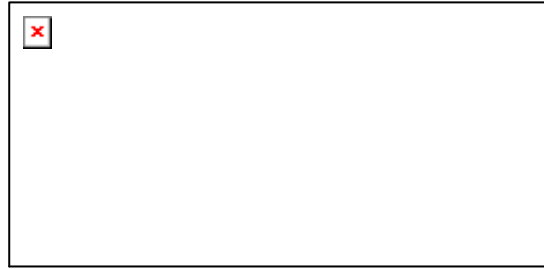
in questa versione sono stati implementati 7 tipi di combustibili diversi; scegliere quello che più si avvicina al combustibile usato dal motore;

- **Numero di ottano;**

- **Parzializzazione carico :**

Tale valore rappresenta la frazione di area attraversabile dal gas attorno alla farfalla (o alla ghigliottina o qualunque altro tipo di parzializzazione dell'aspirazione) .Se il motore lavora a pieno carico tale valore sarà proprio 1,mentre se la farfalla lascerà soltanto $\frac{1}{4}$ dell'area che si avrebbe se essa fosse tutta aperta, allora tale valore sarà proprio 0.25. Il valore deve essere maggiore di zero ed essere al massimo uguale a uno.

- **Rapporto aria-combustibile variabile :**



Se il motore è alimentato a carburatori, è noto che il rapporto aria-combustibile è variabile. In questo caso si assume che vari con il numero di giri, ossia l'utente può specificare per ogni numero di giri il relativo valore. Il questo campo viene chiesto se lo si ritiene variabile o no (se ad esempio si ha a che fare con un motore ad iniezione, si può ritenere che il rapporto aria-combustibile sia sempre costante):

se è fisso, verrà richiesto di inserire solo il valore del rapporto di equivalenza e sarà lo stesso per tutti i regimi;

se è variabile ci sarà una griglia da compilare e verrà richiesto sia il numero di giri che il rapporto di equivalenza.

Il rapporto di equivalenza è un valore adimensionale ed è il rapporto tra aria-combustibile stechiometrico e il rapporto che si desidera : in pratica esso è maggiore di 1 per miscele ricche e minore per le magre; se è uguale a 1 ovviamente è stechiometrico.

Il rapporto di equivalenza ottimo dal punto di vista delle prestazioni si aggira intorno a 1.1 mentre quello ottimo per i consumi è all'incirca 0.9.

Per tornare indietro nell'editor cliccare poi basterà cliccare su 'Indietro', Forte4T farà quindi una verifica dei dati inseriti e riporterà eventuali errori, mentre se si vuole tornare nel menù principale senza aver completato tutti i campi, bisognerà cliccare su 'Menù principale'. In questo caso verranno perse tutte le modifiche effettuate dall'ultimo salvataggio.

4.3 COMBUSTIONE

All'interno di questa finestra verranno specificate le variabili riguardanti la combustione del motore in esame.

I campi da riempire sono:

- **Anticipo variabile :**

in questo campo viene specificato se l'anticipo è variabile o meno; questo procedimento è concettualmente uguale a quello per l'immissione dei valori relativi al 'Rapporto aria-combustibile variabile, ossia se l'anticipo è fisso, bisognerà specificare soltanto quel valore , mentre nel secondo caso bisognerà compilare una griglia associando ad un numero di giri il suo anticipo.

- **Durata della combustione in gradi :**

dopo che la combustione si è avviata, (tempo di incubazione) bisognerà specificare la sua durata. Questo valore in genere si aggira tra 40-60 e dipende molto dalla forma della camera di combustione e dalla turbolenza presente nel cilindro.

- **Parametri combustione :**

qui vanno inseriti tutti i valori relativi alla combustione; che sono:

1. **Tempo di incubazione della combustione in gradi :** dal momento dell'innesco della scintilla da parte della candela, passa un po' di tempo affinché si possa apprezzare l'inizio della combustione; tale valore in genere si aggira intorno ai 10-20 gradi, ed in genere i valori più alti corrispondono per regimi più alti.
 2. **Massa perduta durante la combustione % :** la tenuta delle fasce elastiche, si sa, non è perfetta: c'è sempre una certa quota di massa che sfugge dal cilindro. Questo parametro rappresenta proprio tale massa e si aggira normalmente tra il 2-3%. Volendo lo si può anche usare come costante di calibrazione del programma.
 3. **Legge di combustione:** la relazione utilizzata è quella di Wiebe in cui ci sono due parametri che definiscono la curva
- **AWiebe :** è un valore rappresentativo della quantità di miscela che brucia durante la combustione: per $A_{wiebe}=6.906$ la miscela che brucia è il 99.99% di quella presente nel cilindro; generalmente è un valore di natura sperimentale;
 - **MWiebe :** è un valore rappresentativo della qualità della combustione, è detto anche 'Fattore di forma'. Per bassi valori di MWiebe si ha che la maggior parte della combustione avviene nei primi gradi, mentre per valori più alti verso la fine. Tale valore si aggira attorno ad 1-2 (per un motore a 4T -->1.5) ed è un valore di natura sperimentale;

Se non si dispone di valori sperimentali si possono definirne alcuni orientativi che sono sufficienti per la maggior parte delle applicazioni:

si potrebbe infatti definire:

Tempo di incubazione in gradi : 0

Durata della combustione : 50-60 gradi (o comunque un valore che tenti di rendere l'anticipo il più vicino possibile a quello reale; infatti se l'anticipo è alto, in genere significa che la combustione dura molto);

A_{wiebe} : 6.9;

M_{wiebe} : 2.

Se invece invece si sceglie l'opzione 'Auto' Forte 4T automaticamente determinerà la legge della combustione (in realtà si utilizza una legge diversa dal tipo 'Wiebe' (cosinusoidale) e non è più necessario specificare A_{wiebe} e M_{wiebe});

- **Temperatura pareti cilindro :** in questo campo bisognerà inserire la temperatura delle superfici laterali su cui scorre il cilindro: generalmente tale valore non dovrebbe superare 180 °C (valore indicato 150°C);
- **Temperatura pistone :** tale valore in genere oscilla intorno ai 200-250 °C;
- **Temperatura testata :** tale valore in genere oscilla intorno ai 250-300 °C;

Per tornare indietro nell'editor poi basterà cliccare su 'Indietro', Forte4T farà quindi una verifica dei dati inseriti e riporterà eventuali errori, mentre se si vuole tornare nel menù principale senza aver completato tutti i campi, bisognerà cliccare su 'Menù principale'. In questo caso verranno perse tutte le modifiche effettuate dall'ultimo salvataggio.

4.4 PARAMETRI SIMULAZIONE

All'interno di questa finestra vi sono tutti i parametri necessari per condurre la simulazione di un determinato progetto.

Questi parametri sono:

- **Numero di giri iniziale;**
- **Numero di giri finale;**
- **Numero di giri dei grafici;**
- **Step numero di giri;**

Con questi quattro parametri si specifica il numero di giri iniziale e finale della simulazione, mentre all'interno di questo intervallo con il parametro step si specifica ogni quanti giri si vuole eseguire una simulazione; il numero dei giri dei grafici è quello in cui si preferiscono le informazioni maggiori, in quanto saranno riportati i risultati non solo sul numero di giri, ma al variare del grado di manovella.

- **Parametri simulazione :**

In questo caso ci sono due opzioni:

1. **Auto** : Forte 4T determinerà automaticamente le impostazioni migliori per condurre la simulazione;
2. **Manuale** : verranno presentati dei parametri da definire, che sono

a.) **Discretizzazione condotto aspirazione mm. ;**

b.) **Discretizzazione condotto scarico mm. ;**

I modelli di simulazione dei motori a combustione interna, effettuano una discretizzazione dei condotti per poter studiarne il comportamento e quindi fornire i valori necessari per lo studio della termodinamica del cilindro: ogni condotto viene diviso in tanti piccoli segmenti, e i due valori sopra enunciati ne sono la lunghezza.

Queste variabili influenzano Fortemente l'accuratezza dei risultati, ma anche i tempi di calcolo, in quanto con valori più piccoli di discretizzazione si possono raggiungere accuratze migliori, ma si hanno anche tempi di calcolo più lunghi. Generalmente per il condotto di aspirazione, un valore di 10 mm. è più che sufficiente mentre per lo scarico si può utilizzare un valore di 20 mm..

Nella definizione di questi valori ,tenere presente che le discretizzazioni devono essere sempre sufficientemente più piccoli del più piccolo segmento di condotto, altrimenti se ne possono perdere le informazioni durante la simulazione.

c. **Numero minimo iterazioni ;**

durante una simulazione , il programma per ogni numero di giri, effettua un certo numero di iterazioni (o giri di albero motore) prima di passare a quello successivo: generalmente sono sufficienti poche iterazioni per poter raggiungere un risultato accurato. In questo campo si inserirà il suo valore minimo, ossia anche se il simulatore arriva ad errore sufficientemente piccolo prima di questo valore, esso continuerà ancora in quel numero di giri, finché non supererà la soglia minima specificata.

d.) **Numero massimo iterazioni .**

non è detto però che in ogni configurazione il programma raggiunga un valore sufficientemente piccolo dell'errore , ossia non arriva a convergenza e quindi è bene specificare anche il numero massimo di iterazioni oltre il quale il simulatore non va, per passare poi al regime successivo. Nell'ipotesi sopra descritta, Forte 4T fa comunque una media di tutte le variabili su più iterazioni per rendere l'errore comunque basso.

- **Temperatura ambiente °C ;**
- **Pressione ambiente Bar ;**

Queste invece sono le condizioni ambientali in cui il motore viene simulato.

Per tornare indietro nell'editor cliccare poi basterà cliccare su 'Indietro', Forte4T farà quindi una verifica dei dati inseriti e riporterà eventuali errori, mentre se si vuole tornare nel menù principale senza aver completato tutti i campi, bisognerà cliccare su 'Menù principale'. In questo caso verranno perse tutte le modifiche effettuate dall'ultimo salvataggio.

4.5 GEOMETRIA DELLE VALVOLE

In questa finestra si inseriscono tutti i valori relativi alle valvole di aspirazione e scarico e l'approccio è esattamente lo stesso sia che si parli di aspirazione, che di scarico.

I parametri da configurare sono

- **Profilo camma aspirazione :**

La legge del moto della valvola, e quindi indirettamente il profilo della camma che la muove, devono essere noti per effettuare una simulazione. In Forte 4T ci sono 3 differenti modi per definire tale problema, che sono:

1. **Auto** : in questo modo si lascia che il programma definisca automaticamente un profilo di alzata valvola, e lascia all'utente la possibilità di inserire i valori di alzata valvola e della sua durata.
2. **Manuale** : con questa opzione Forte 4T permette all'utente di personalizzare tale curva ipotizzando che essa sia divisa in 5 parti (vedi figura sottostante):



Rampa di salita:

per questa fase si hanno due valori da specificare: angolo finale e la sua altezza finale espressa come rapporto tra la sua altezza e l'alzata massima. Questi valori sono in genere 40° il primo e circa 0.2-0.25 il secondo;

Alzata principale: questa è la fase principale della curva e definiti i parametri per la rampa e per il dwell viene automaticamente definita .

Dwell : Esprime la durata in gradi di quella parte di curva in cui l'alzata rimane costante e pari all'alzata massima: generalmente tale valore oscilla tra 5-10 gradi, ma può essere anche nullo;

Durata fase di salita : Qui si specifica la durata della fase di salita in gradi. Se il profilo è simmetrico, allora questa grandezza è uguale alla metà della durata totale di aspirazione.

Discesa principale : E' l'analogo dell'alzata principale.

Rampa di discesa : anche per questa fase vale il discorso fatto per la rampa di salita.

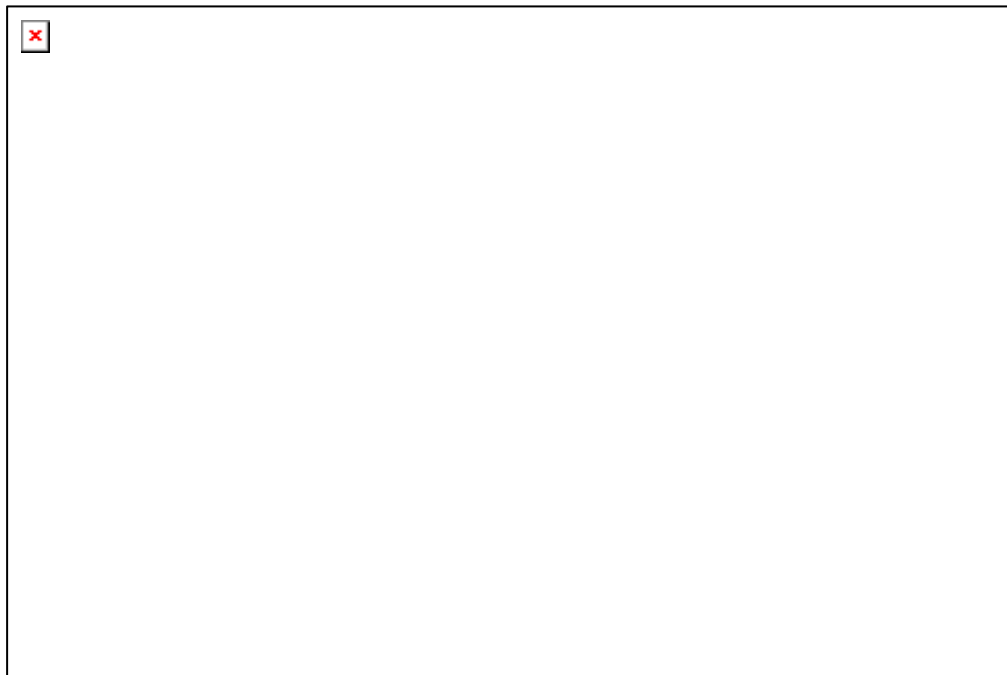
3.) **'Per punti'** : in questo modo, se si dispone di un profilo di alzata per punti, e quindi di un file opportunamente creato con l'utilità 'Crea file profilo alzata valvola ', lo si può specificare qui.

- **Fasatura variabile :**

Se il motore che si prende in esame ha la capacità di variare l'angolo di apertura della valvola di aspirazione, allora è possibile anche tener conto di questo fenomeno. Il metodo per comporre la griglia, o di inserire l'angolo di apertura della valvola, è concettualmente lo stesso dei casi del rapporto aria-combustibile variabile o dell'anticipo.

- **Dimensioni valvola :**

Per definire correttamente la geometria della o delle valvole di aspirazione, è necessario specificare le seguenti grandezze:



1. **Numero valvole per cilindro :**
2. **Diametro esterno sede valvola mm.:**
3. **Diametro interno sede valvola mm.:**
4. **Diametro porta mm.:**
5. **Diametro stelo valvola mm..**

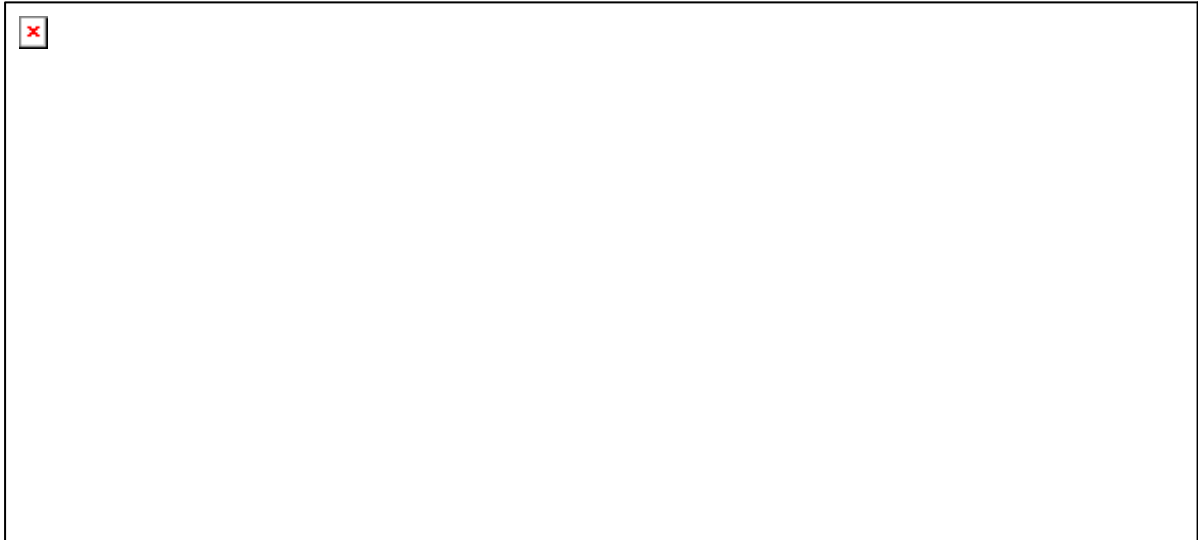
Il grafico della figura riportata sopra è esemplificativo di esse.

File coefficienti di efflusso : in questa sezione bisognerà specificare il file che contiene le informazioni riguardo i coefficienti di efflusso. Tali file possono essere costruiti con l'utilità 'Crea file coefficienti di efflusso ', oppure si può scegliere tra quelli predefiniti di Forte 4T.

Per tornare indietro nell'editor cliccare poi basterà cliccare su 'Indietro', Forte4T farà quindi una verifica dei dati inseriti e riporterà eventuali errori, mentre se si vuole tornare nel menù principale senza aver completato tutti i campi, bisognerà cliccare su 'Menù principale'. In questo caso verranno perse tutte le modifiche effettuate dall'ultimo salvataggio.

4.6 CONDOTTO DI ASPIRAZIONE

La configurazione massima di questa versione di Forte 4T è quella riportata nella figura sottostante



Si ha quindi in aspirazione e allo scarico la possibilità di inserire un volume ed un certo numero di condotti prima di essi (all'aspirazione) e dopo (allo scarico).

Quando si comporrà la griglia identificativa dei condotti bisognerà rispettare la direzione delle frecce: si comincia quindi a compilare i segmenti di condotti da sinistra verso destra; i seguenti grafici saranno maggiormente esplicativi.

La finestra 'Condotto di aspirazione' comincia con la richiesta della presenza di un volume all'aspirazione e, in base alla risposta dell'utente apparirà una serie di campi da riempire relativi a tale volume.



Nel caso positivo bisognerà inserire i seguenti dati:

- **Numero condotti:** si ipotizza che a monte del volume possano esserci un numero maggiore di uno di condotti uguali.
- **Volume cc.:** Qui va specificato il volume in cc.
- **Temperatura Volume °C ;**Per tener conto dello scambio di calore tra il gas e le sue pareti questo dato è necessario. Tuttavia questo valore è generalmente molto simile alla temperatura ambiente;
- **Temperatura condotto/i:** Lo stesso di valore precedente
- **Ingresso a trombetta/uscita a trombetta:** qui si dovrà specificare il tipo di estremità, ovvero se il condotto terminerà dritto o a trombetta: ovviamente l'ultimo dei due comporta prestazioni migliori;
- Per inserire i dati relativi al condotto lo si suddivide in segmenti e per ogni segmento si inseriscono:

Diametro iniziale,

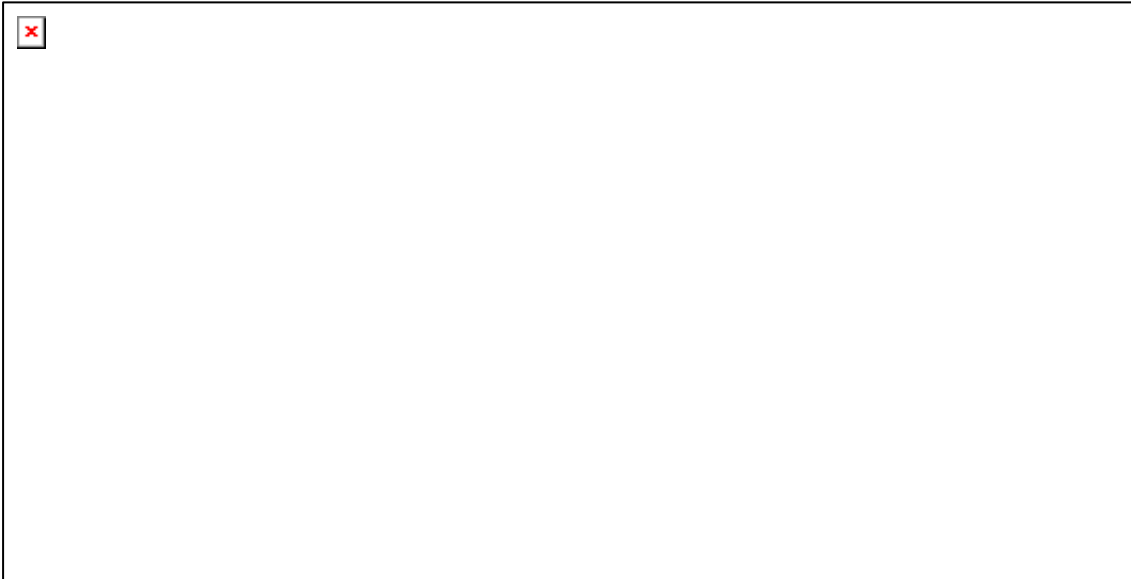
Lunghezza segmento,

Diametro finale.

La convenzione, come precedentemente spiegato, è quella di inserire i valori dei segmenti da sinistra verso destra: nel caso precedente il primo segmento (e quindi la prima riga della griglia) sarà quello di sinistra a contatto con l'atmosfera (o con il volume se presente). Bisogna comunque aggiungere una ulteriore lunghezza per ogni estremità con l'atmosfera di circa la metà del diametro ($0.5 * D$) per tener conto degli effetti di estremità (la parte tratteggiata nella figura sottostante ne rappresenta solo l'estremità sinistra)

Condotto principale

Il condotto principale è quello che ha un estremità in contatto con il motore. La figura riportata di seguito lo rappresenta:



- **Ingresso a trombetta** : Come per il caso precedente si specifica il tipo di estremità (quella sinistra nella figura), mentre per quella opposta, ci sarà la valvola;
- **Temperatura condotto aspirazione** : Qui si inserisce il valore della temperatura del condotto principale di aspirazione; in questo caso il valore risulterebbe maggiore rispetto alla temperatura ambiente e se non si ha la minima idea di quale temperatura si abbia nel motore in esame, un valore compreso tra i 60-80°C potrebbe già essere sufficientemente accurato;
- **Griglia composizione condotto** :

Per inserire i dati relativi al condotto lo si suddivide in segmenti e per ogni segmento si inseriscono

Diametro iniziale,

Lunghezza segmento,

Diametro finale.

La convenzione, come precedentemente spiegato, è quella di inserire i valori dei segmenti da sinistra verso destra: nel caso precedente il primo segmento (e quindi la prima riga della griglia) sarà quello di sinistra a contatto con l'atmosfera (o con il volume se presente). Bisogna comunque aggiungere una ulteriore lunghezza all'estremità con l'atmosfera di circa la metà del diametro ($0.5 \cdot D$) per tener conto degli effetti di estremità (la parte tratteggiata nella figura)

- **Distanza flangia collettore-valvola mm.:** Per inserire questo valore bisogna prestare particolare attenzione. Per inserire un valore sufficientemente accurato, sarebbe opportuno inserire oltre al valore medio di tale segmento,(vedi figura) un ulteriore lunghezza dell'ordine della metà del diametro della valvola
- **Visualizza profilo condotto**

Per avere un'idea del condotto inserito, cliccando su questo pulsante apparirà un grafico che lo visualizzerà.

Per tornare indietro nell'editor cliccare poi basterà cliccare su 'Indietro', Forte4T farà quindi una verifica dei dati inseriti e riporterà eventuali errori, mentre se si vuole tornare nel menù principale senza aver completato tutti i campi, bisognerà cliccare su 'Menù principale'. In questo caso verranno perse tutte le modifiche effettuate dall'ultimo salvataggio.

4.7 CONDOTTO DI SCARICO

Questo è l'analogo del caso dell'aspirazione e quindi per ogni informazione si rimanda alla sezione precedente.

4.8 ESECUZIONE DELLA SIMULAZIONE

Se si è scelto di eseguire la simulazione, apparirà una finestra in cui verranno visualizzate in tempo reale i risultati. Per tutto il tempo della simulazione non sarà più possibile eseguire altre operazioni su Forte 4T, e si sconsiglia di eseguire altri programmi, in quanto la simulazione sfrutterà tutte le risorse del PC, e meno operazioni ci sono in corso, più sarà rapida.

4.9 SALVATAGGIO DEL PROGETTO

Per salvare il progetto corrente c'è il pulsante 'Salva progetto'. Tutti i file vengono salvati con una estensione '.dat', così da poter essere riutilizzati successivamente.

4.10 MENU' PRINCIPALE

Se si desidera tornare al menù principale, basta cliccare su questo pulsante, ma ricordarsi sempre di salvare le modifiche, altrimenti andranno perse.

4.11 STAMPA PROGETTO

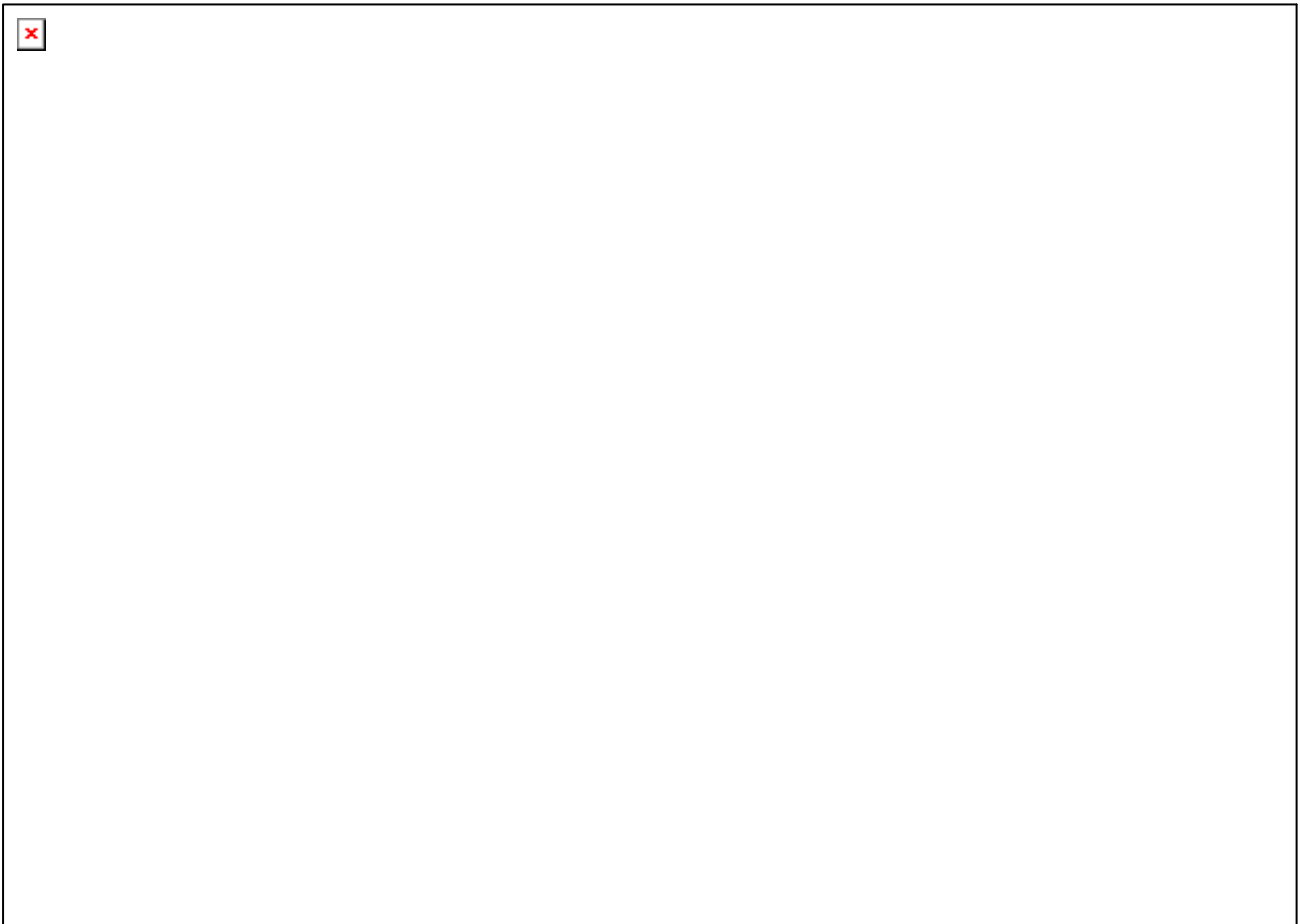
Se si vuole inviare alla stampante una copia del progetto in esame, basta cliccare su 'Stampa progetto'. Forte 4T creerà un documento con tutte i parametri.

5. RISULTATI

I risultati di una simulazione possono essere presentati sia in forma grafica che in forma di testo. Quando si seleziona l'opzione 'Visualizza grafici simulazione dal menù 'Risultati' comparirà una schermata per la selezione del file di risultati: tali file hanno una estensione del tipo '.out' e

conservano il nome del progetto iniziale. Ad esempio se il progetto simulato si chiama 'G50.dat' , il file di risultati sarà 'G50.out' .

Dopo aver selezionato il file di risultati apparirà una schermata del tipo:



ossia si hanno al centro della pagina 4 grafici ed alla destra un certo numero di pulsanti che servono a selezionare il tipo di grafici da visualizzare ed alcune operazioni che si possono compiere su di esse.

Cliccando due volte su un grafico si avrà un ingrandimento di esso che lo porterà ad avere dimensioni molto più grandi rispetto a quelle originali; per ripristinare poi le dimensioni iniziali bisogna di nuovo cliccare due volte sul grafico.

I grafici sono divisi in due gruppi:

- **Numero di giri** : qui sono raggruppati tutti i grafici presentati al variare del numero di giri ed ogni pulsante presenterà 4 grafici:
 1. **Cilindro1**: qui vengono riportati i grafici di Potenza,Coppia, Consumo specifico e rendimento
 2. **Cilindro2**: qui vengono riportati i grafici di Pressione media effettiva,Pressione massima nel cilindro, Temperatura massima nel cilindro e indice di Detonazione. Non si ha Detonazione se tale valore è minore di uno.

3. **Cilindro3**: qui vengono riportati i grafici relativi al lavaggio del motore, che sono: Rendimento di lavaggio, Coefficiente di lavaggio, Rendimento volumetrico , Coefficiente di trattenimento.
4. **Condotto prima del Volume in aspirazione** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media, Velocità media e Purity media di tale condotto;
5. **Volume in aspirazione**: qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media e Purity media di tale Volume;
6. **Condotto principale di aspirazione**: qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media, Velocità media e Purity media di tale condotto;
7. **Condotto principale di scarico**: qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media, Velocità media e Purity media di tale condotto;
8. **Volume allo scarico** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media e Purity media di tale Volume;
9. **Condotto dopo il Volume allo scarico**: qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media, Velocità media e Purity media di tale condotto;

- **Angolo**: Quando si specifica il 'Numero di giri dei grafici ' , lo si fa per stabilire a quale regime si vogliono ulteriori informazioni di uscita. Infatti, a quel numero di giri, si visualizzeranno grafici al variare dell'angolo di manovella:

1. **Cilindro1**: In questa schermata si hanno i grafici di Pressione, Temperatura, l'andamento della curva di combustione e i grafici relativi alle temperature della miscela, dei prodotti della combustione e della media tra le due;
2. **Cilindro2**: In questa schermata si hanno i grafici dell'andamento delle pressioni nel cilindro, nella valvola di aspirazione e di scarico; si hanno poi quelli di alzata delle valvole di aspirazione e scarico, il diagramma pressione-volume e del Lavoro;
3. **Condotto prima del Volume in aspirazione** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura, Pressione , Velocità e Purity all'ingresso e all'uscita di tale condotto;
4. **Volume in aspirazione** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media e Purity media di tale Volume;
5. **Condotto principale di aspirazione** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura, Pressione , Velocità e Purity all'ingresso e all'uscita di tale condotto;
6. **Condotto principale di scarico** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura, Pressione , Velocità e Purity all'ingresso e all'uscita di tale condotto;
7. **Volume allo scarico** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura media, Pressione media e Purity media di tale Volume;
8. **Condotto dopo il Volume allo scarico** : qui vengono riportati i grafici di Temperatura, Pressione , Velocità e Purity all'ingresso e all'uscita di tale condotto.

- **Carica altri risultati** : se si vogliono confrontare più risultati basta cliccare su questo pulsante e comparirà una finestra per la selezione di altri progetti ; non esiste un limite superiore al numero massimo di risultati visualizzabili, ovviamente troppe curve visualizzate, più confuso sarà il grafico.
- **Ingrandisci grafico** : Se il grafico è stato già ingrandito è possibile ulteriormente ingrandirne una parte di esso impostandone i limiti inferiori e superiori . Cliccando infatti su questo pulsante apparirà una finestra in cui si potranno specificare tali limiti in base alla parte di grafico che l'utente vuole visualizzare.
- **Stampa** : Se si vuole stampare i grafici visualizzati nella finestra principale, bisogna cliccare su questo pulsante. Si stamperanno i grafici visualizzati in quel momento, ovvero se nella finestra principale sono visualizzati 4 grafici, allora verranno stampati 4 grafici, nel caso invece che ci sia un grafico ingrandito, allora verrà stampato solo il grafico in primo piano.

- **Salva grafico come immagine** : è simile al caso precedente, con la differenza che il grafico o i grafici verranno salvati come immagine '.bmp'.
- **Crea file risultati** : Se si vuole utilizzare i risultati di Forte 4T come dati di ingresso per altri programmi è possibile creare dei file con tutti i risultati: nella directory 'Results' verrà creato un file per ogni variabile. Ogni file sarà costituito da due colonne di numeri: una sarà il numero di giri (o l'angolo di manovella) e l'altra sarà la variabile di interesse (potenza,coppia o l'andamento della pressione con l'angolo di manovella).
- **Esci dai grafici** : Si esce dalla visualizzazione dei grafici.

6. GLOSSARIO

In questo capitolo si riportano le definizioni dei principali parametri motoristici presentati in questo software: si sorvolerà su quelli più semplici (Potenza,Coppia ecc.)

Pme : Pressione media effettiva;

Pmi : Pressione media indicata;

Pmatt :Pressione media di attrito (rappresenta le perdite meccaniche del motore);

Rendimento di lavaggio : è il rapporto tra la massa di miscela e la massa totale presente nel cilindro al termine della fase di aspirazione; si ricorda che in genere all'interno del cilindro sono sempre presenti i gas residui della combustione avvenuta nel ciclo precedente. E' praticamente un indice della "Qualità" della fase di sostituzione del fluido.

Coefficiente di lavaggio : è il rapporto tra la miscela totale inviata nel motore dalla valvola di aspirazione e una massa di riferimento ; quest' ultima è il prodotto tra una densità di riferimento (quella dell'aria alla temperatura di 20°C e pressione di 1 atm) e la cilindrata del motore. E' un indice della quantità di aria aspirata dal motore.

Rendimento volumetrico: è il rapporto tra la miscela effettivamente trattenuta al termine della fase di aspirazione e la massa di riferimento definita in precedenza. E' anche il rapporto tra il rendimento di lavaggio ed il coefficiente di lavaggio.

Coefficiente di trattenimento: è il rapporto tra la miscela effettivamente trattenuta al termine della fase di aspirazione e la miscela totale inviata dalla valvola di aspirazione. E' anche questo un indice della qualità della sostituzione del fluido.

Purity : rappresenta la frazione di miscela presente nel fluido all'interno di un condotto; se tale valore è 1 allora si ha in quell'istante che quel gas è costituito unicamente da miscela, mentre se uguale a 0 si ha che è composto unicamente da prodotti della combustione.

Indice di Detonazione : Questo indice fornisce informazioni sulla miscela e precisamente se durante la fase di combustione arriva a detonazione. Se tale valore è maggiore di 1 si può ritenere che ci sia detonazione, il contrario se è minore di 1.