

Università degli Studi di Pisa



Facoltà di Ingegneria



Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale

Tesi di Laurea Specialistica in *Ingegneria Aerospaziale*

**VALIDAZIONE DI UNA PROCEDURA DI ANALISI CFD
PER LO STUDIO TERMOFLUIDODINAMICO
DELL' ABITACOLO DI UN' AUTOVETTURA**

Relatori:

Prof. Ing. Giovanni Lombardi

Ing. Marco Maganzi

Ing. Ferdinando Cannizzo

Candidato:

Paolo Guzzolino

Anno Accademico 2007/2008

*Ai miei genitori
Elisa e Francesco*

Sommario

Nel presente lavoro di tesi è stato definito un modello di calcolo CFD che consente di descrivere il comportamento termofluidodinamico dell'abitacolo di un' autovettura; la metodologia è stata impiegata per studiare le caratteristiche termiche del flusso di aria all'interno della Ferrari 612 Scaglietti. La validità dei risultati numerici è stata verificata confrontando questi ultimi con i dati sperimentali forniti dalla Ferrari ed associati ad otto situazioni differenti.

La presente trattazione è così strutturata: inizialmente è descritta la fase di definizione della geometria dell'abitacolo, ottenuta rimuovendo dai file CATIA dei disegni costruttivi dell'auto tutti i particolari non significativi, e di creazione della griglia di calcolo, realizzata con l'ausilio dei software ANSA e Tgrid; sono poi illustrati i modelli matematici in grado di simulare i meccanismi di scambio termico presenti all'interno dell'abitacolo e la scelta di quello che più adatto a rappresentare la fisica del problema in esame; successivamente è mostrato come impostare i parametri CFD presenti nel codice di calcolo Fluent e come effettuare l'analisi di sensibilità del problema alla griglia; infine si analizzano i risultati CFD ottenuti e si esegue il loro confronto con i dati sperimentali.

Indice

Indice.....	I
Indice delle figure.....	IV
Indice delle tabelle	VII
Capitolo 1 Introduzione	1
1.1 La Ferrari 612 Scaglietti	2
Capitolo 2 Definizione del problema.....	3
2.1 Definizione della geometria e generazione della <i>mesh</i>	3
2.2 Posizionamento delle sonde.....	6
2.3 Piani di visualizzazione risultati CFD	11
Capitolo 3 Trasmissione del calore.....	14
3.1 Conduzione	14
3.1.1 Il concetto di resistenza termica	15
3.1.2 Esempio	16
3.2 Convezione.....	16
3.2.1 Lo strato limite di velocità	18
3.2.2 Lo strato limite termico	20
3.2.3 Il flusso su lastra piana	21
3.2.4 Esempio	23
3.3 Irraggiamento	23
3.3.1 Potere emissivo	25
3.3.2 Intensità di radiazione	27
3.3.3 Le proprietà radiative	27
3.3.4 La legge di Kirchhoff	30
3.3.5 L'effetto serra	30
3.3.6 L'equazione della trasmissione per irraggiamento (RTE).....	31

Capitolo 4 I modelli di scambio termico in Fluent	33
4.1 Conduzione	33
4.2 Convezione.....	33
4.3 Irraggiamento	34
4.3.1 DTRM	34
4.3.2 P-1 Radiation Model	35
4.3.3 Rosseland Radiation Model.....	36
4.3.4 S2S Radiation Model.....	36
4.3.5 DO Radiation Model	38
4.3.6 Scelta del modello di irraggiamento.....	44
4.4 Modelli di irraggiamento solare.....	45
4.4.1 Solar Ray Tracing	45
4.4.2 DO Irradiation	46
Capitolo 5 Impostazione dei parametri CFD.....	47
5.1 Solutore.....	47
5.2 Modello di turbolenza.....	49
5.3 Equazione dell'energia.....	50
5.4 Modello di irraggiamento	51
5.5 Definizione dei materiali.....	51
5.5.1 Proprietà dei materiali fluidi.....	52
5.5.2 Proprietà dei materiali solidi	53
5.6 Condizioni al contorno	54
Capitolo 6 Analisi di sensibilità.....	59
6.1 Prova di riferimento.....	59
6.2 Qualità delle griglie	59
6.3 Analisi dei risultati.....	62
Capitolo 7 Risultati CFD e loro confronto con i dati sperimentali.....	70
7.1 Prova N° 1.....	70
7.2 Prova N° 2	76
7.3 Prova N° 3	82
7.4 Prova N° 4	89
7.5 Prova N° 5	89
7.6 Prova N° 6	95

7.7	Prova N° 7	101
7.8	Prova N° 8	107
Capitolo 8 Conclusioni e sviluppi futuri		114
8.1	Conclusioni.....	114
8.2	Sviluppi futuri.....	114
Bibliografia		116

Indice delle figure

Figura 1.1 – La Ferrari 612 Scaglietti.....	2
Figura 2.1 – Alcuni dettagli dell’auto prima e dopo l’operazione di pulitura.....	4
Figura 2.2 – Geometria dell’abitacolo della Ferrari 612 Scaglietti.....	5
Figura 2.3 – Abitacolo interno	5
Figura 2.4 – Mesh di volume dell’abitacolo.....	6
Figura 2.5 – Anemometri e termocoppie in corrispondenza delle bocchette e sul manichino..	8
Figura 2.6 – Termocoppie posizionate sul parabrezza	9
Figura 2.7 – Termocoppie sul finestrino laterale sinistro	9
Figura 2.8 – Termocoppie sul tetto.....	10
Figura 2.9 – Piano centrale dell’abitacolo	11
Figura 2.10 – Piano sezione pilota	11
Figura 2.11 – Piano sezione lato passeggero	12
Figura 2.12 – Piano sezione spalle pilota	12
Figura 2.13 – Piano sezione bocchette	13
Figura 3.1– Sviluppo dello strato limite su una lastra piana ad incidenza nulla	18
Figura 3.2 – Spessore degli strati limite di velocità e temperatura per fluidi aventi $Pr < 1$	20
Figura 3.3 – Spettro della radiazione elettromagnetica.....	24
Figura 3.4 – Potere emissivo monocromatico del corpo nero	26
Figura 3.5 – Assorbimento, riflessione e trasmissione della radiazione incidente.....	29
Figura 3.6 – Coefficiente di trasmissione monocromatico del vetro a temperatura ambiente	31
Figura 3.7 – Equazione RTE	32
Figura 4.1 – Discretizzazione e Pixellizzazione nel modello DO.....	39
Figura 4.2 – Radiazione incidente, riflessa ed assorbita per una superficie opaca.....	40
Figura 4.3 – Radiazione incidente, riflessa, assorbita e rifratta per una superficie semitrasparente interna	42
Figura 4.4 – Radiazione incidente, riflessa, assorbita e rifratta per una superficie semitrasparente esterna	43
Figura 4.5 – Fascio radiante incidente.....	43
Figura 4.6 – Solar calculator.....	45
Figura 5.1 – Solutore segregated	47
Figura 5.2 – Solutore coupled	48
Figura 5.3 – Pannello di impostazione del solutore.....	49
Figura 5.4 – Pannello di impostazione del modello di turbolenza.....	50
Figura 5.5 – Attivazione equazione dell’energia	50
Figura 5.6 – Pannello di impostazione del modello di irraggiamento.....	51
Figura 5.7 – Condizione al contorno di velocity inlet.....	55
Figura 5.8 – Pannello di impostazione per la condizione al contorno di velocity inlet.....	55
Figura 5.9 – Condizione al contorno di pressure outlet e relativo pannello di impostazione ..	56
Figura 5.10 – Pannello di impostazione per la condizione al contorno wall sezione termica..	57

<i>Figura 5.11 – Pannello di impostazione sezione Radiazione: (a) superficie semitrasparente, (b) superficie opaca.</i>	58
<i>Figura 6.1 – Distribuzione della skewness per la mesh da 1.96 milioni di celle</i>	60
<i>Figura 6.2 – Distribuzione della skewness per la mesh da 3.49 milioni di celle</i>	61
<i>Figura 6.3 – Distribuzione della skewness per la mesh da 5.05 milioni di celle</i>	61
<i>Figura 6.4 – Temperature sul piano sezione bocchette: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	62
<i>Figura 6.5 – Campo di velocità sul piano sezione bocchette: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	63
<i>Figura 6.6 – Temperature sul piano centrale: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	64
<i>Figura 6.7 – Velocità sul piano centrale: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	65
<i>Figura 6.8 – Temperature sul piano sezione spalle: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	66
<i>Figura 6.9 – Velocità sul piano sezione spalle: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	67
<i>Figura 6.10 – Temperature sul manichino: mesh di 1.96 mil (a), mesh di 3,49 mil (b), mesh di 5.05 mil (c)</i>	68
<i>Figura 7.1 – Risultati prova N° 1: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	71
<i>Figura 7.2 – Risultati prova N° 1: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	71
<i>Figura 7.3 – Risultati prova N° 1: campo di temperatura sul piano centrale</i>	72
<i>Figura 7.4 – Risultati prova N° 1: campo di velocità sul piano centrale</i>	72
<i>Figura 7.5 – Risultati prova N° 1: campo di temperatura sul piano sezione lato pilota</i>	73
<i>Figura 7.6 – Risultati prova N° 1: campo di velocità sul piano sezione lato pilota</i>	73
<i>Figura 7.7 – Risultati prova N° 1: campo di temperatura sul piano sezione lato passeggero</i>	74
<i>Figura 7.8 – Risultati prova N° 1: campo di velocità sul piano sezione lato passeggero</i>	74
<i>Figura 7.9 – Risultati prova N° 1: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota</i>	75
<i>Figura 7.10 – Risultati prova N° 1: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	75
<i>Figura 7.11 – Risultati prova N° 2: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	77
<i>Figura 7.12 – Risultati prova N° 2: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	77
<i>Figura 7.13 – Risultati prova N° 2: campo di temperatura sul piano centrale</i>	78
<i>Figura 7.14 – Risultati prova N° 2: campo di velocità sul piano centrale</i>	78
<i>Figura 7.15 – Risultati prova N° 2: campo di temperatura sul piano sezione pilota</i>	79
<i>Figura 7.16 – Risultati prova N° 2: campo di velocità sul piano sezione pilota</i>	79
<i>Figura 7.17 – Risultati prova N° 2: campo di temperatura sul piano sezione passeggero</i>	80
<i>Figura 7.18 – Risultati prova N° 2: campo di velocità sul piano sezione passeggero</i>	80
<i>Figura 7.19 – Risultati prova N° 2: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota</i>	81
<i>Figura 7.20 – Risultati prova N° 2: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	81
<i>Figura 7.21 – Risultati prova N° 3: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	83
<i>Figura 7.22 – Risultati prova N° 3: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	83
<i>Figura 7.23 – Risultati prova N° 3: campo di temperatura sul piano centrale</i>	84
<i>Figura 7.24 – Risultati prova N° 3: campo di velocità sul piano centrale</i>	84
<i>Figura 7.25 – Risultati prova N° 3: campo di temperatura sul piano sezione pilota</i>	85
<i>Figura 7.26 – Risultati prova N° 3: campo di velocità sul piano sezione pilota</i>	85
<i>Figura 7.27 – Risultati prova N° 3: campo di temperatura sul piano sezione passeggero</i>	86
<i>Figura 7.28 – Risultati prova N° 3: campo di velocità sul piano sezione passeggero</i>	86

<i>Figura 7.29 – Risultati prova N° 3: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>87</i>
<i>Figura 7.30 – Risultati prova N° 3: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>87</i>
<i>Figura 7.31 – Risultati prova N° 5: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	<i>90</i>
<i>Figura 7.32 – Risultati prova N° 5: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	<i>90</i>
<i>Figura 7.33 – Risultati prova N° 5: campo di temperatura sul piano centrale.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 7.34 – Risultati prova N° 5: campo di velocità sul piano centrale.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 7.35 – Risultati prova N° 5: campo di temperatura sul piano sezione pilota.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 7.36 – Risultati prova N° 5: campo di velocità sul piano sezione pilota.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 7.37 – Risultati prova N° 5: campo di temperatura sul piano sezione passeggero.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 7.38 – Risultati prova N° 5: campo di velocità sul piano sezione passeggero.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 7.39 – Risultati prova N° 5: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>94</i>
<i>Figura 7.40 – Risultati prova N° 5: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>94</i>
<i>Figura 7.41 – Risultati prova N° 6: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	<i>96</i>
<i>Figura 7.42 – Risultati prova N° 6: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	<i>96</i>
<i>Figura 7.43 – Risultati prova N° 6: campo di temperatura sul piano centrale.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 7.44 – Risultati prova N° 6: campo di velocità sul piano centrale.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 7.45 – Risultati prova N° 6: campo di temperatura sul piano sezione pilota.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 7.46 – Risultati prova N° 6: campo di velocità sul piano sezione pilota.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 7.47 – Risultati prova N° 6: campo di velocità sul piano sezione passeggero.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 7.48 – Risultati prova N° 6: campo di velocità sul piano sezione passeggero.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 7.49 – Risultati prova N° 6: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota ...</i>	<i>100</i>
<i>Figura 7.50 – Risultati prova N° 6: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>100</i>
<i>Figura 7.51 – Risultati prova N° 7: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	<i>102</i>
<i>Figura 7.52 – Risultati prova N° 7: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	<i>102</i>
<i>Figura 7.53 – Risultati prova N° 7: campo di temperatura sul piano centrale.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 7.54 – Risultati prova N° 7: campo di velocità sul piano centrale.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 7.55 – Risultati prova N° 7: campo di temperatura sul piano sezione pilota.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 7.56 – Risultati prova N° 7: campo di velocità sul piano sezione pilota.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 7.57 – Risultati prova N° 7: campo di temperatura sul piano sezione passeggero.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 7.58 – Risultati prova N° 7: campo di velocità sul piano sezione passeggero.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 7.59 – Risultati prova N° 7: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota ...</i>	<i>106</i>
<i>Figura 7.60 – Risultati prova N° 7: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>106</i>
<i>Figura 7.61 – Risultati prova N° 8: campo di temperatura sul piano sezione bocchette</i>	<i>108</i>
<i>Figura 7.62 – Risultati prova N° 8: campo di velocità sul piano sezione bocchette</i>	<i>108</i>
<i>Figura 7.63 – Risultati prova N° 8: campo di temperatura sul piano centrale.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 7.64 - Risultati prova N° 8: campo di velocità sul piano centrale.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 7.65 - Risultati prova N° 8: campo di temperatura sul piano sezione pilota.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 7.66 – Risultati prova N° 8: campo di velocità sul piano sezione pilota.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 7.67 - Risultati prova N° 8: campo di temperatura sul piano sezione passeggero</i>	<i>111</i>
<i>Figura 7.68 - Risultati prova N° 8: campo di velocità sul piano sezione passeggero</i>	<i>111</i>
<i>Figura 7.69 - Risultati prova N° 8: campo di temperatura sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>112</i>
<i>Figura 7.70 - Risultati prova N° 8: campo di velocità sul piano sezione spalle pilota</i>	<i>112</i>

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1.1 – Situazioni simulate</i>	2
<i>Tabella 2.1– Coordinate dei punti di controllo all'interno dell'automobile</i>	10
<i>Tabella 5.1 – Proprietà fisiche dell'aria</i>	52
<i>Tabella 5.2 - Proprietà fisiche dell'alluminio</i>	53
<i>Tabella 5.3 – Proprietà fisiche della pelle</i>	54
<i>Tabella 5.4 – Proprietà fisiche del vetro</i>	54
<i>Tabella 6.1 – Caratteristiche delle mesh</i>	60
<i>Tabella 6.2 – Temperature nei punti di controllo per le diverse mesh</i>	69
<i>Tabella 7.1 – Prova N° 1: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	76
<i>Tabella 7.2 - Prova N° 2: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	82
<i>Tabella 7.3 – Prova N° 3: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	88
<i>Tabella 7.4 – Prova N° 4: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	89
<i>Tabella 7.5 – Prova N° 5: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	95
<i>Tabella 7.6 – Prova N° 6: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	101
<i>Tabella 7.7 – Prova N° 7: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	107
<i>Tabella 7.8 – Prova N° 8: confronto tra i risultati CFD ed i dati sperimentali</i>	113