



UNIVERSITA' DI PISA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Facoltà di Agraria

Corso di Laurea Interfacoltà in Scienze Ambientali

Tesi di Laurea

RILASCIO INCONTROLLATO
DI IDORCARBURI DA POZZI DI PETROLIO:
MODELLO SEMPLIFICATO DI GETTO

Candidato:

Francesco Saviozzi

Relatore esterno:

Ing Michele Bonuccelli

Relatore:

Prof. Paolo Andreussi

A coloro che fuggono

Ringraziamenti

Un documento “ufficiale”. Non qua. Mi prendo due pagine e scrivo quello che voglio, senza sottostare a nessuna regola di forma e/o di comportamento. Non ne abbiate a male.

Quanto è stata dura? Tanto. Le volte che avrei voluto mollare tutto non le conto più. Numeri che si accavallano davanti agli occhi, tutti uguali, con una vita propria, indipendenti dai miei ordini che seguono inesorabilmente il loro capo. Il caso. Formule che danno risultati inaspettati. Mai quelli desiderati. “Un centesimo per ogni click di mouse”. Eppure quelle curve si avvicinavano sempre più. Lo sapevo, mi mancava poco. La meta nella sovrapposizione.

Notti insonni. Non a lavoro, ma nel letto. Quando la paura, l’angoscia ti assale e più che non ci pensi e più che lei ti rincorre, ti raggiunge. Ti morde. So chi può capirmi. Ma non ringrazierò loro. Loro non ci saranno; non sapranno nemmeno dove sono e cosa ho fatto. Loro? Li saluto.

Grazie a tutti coloro che **NON** mi chiederanno una qualsiasi cosa inerente alla dedica di questa tesi

Ai miei *genitori*, per essermi sempre stati vicino. Tra le incomprensioni e i miei sbalzi emotivi. La fiducia

Alla mia *nonna*, tacita spettatrice presente. Ti voglio bene

Al *prof Andreussi*, per il supporto scientifico e avermi affidato questo progetto

A *Michele* per tutto quello che mi ha insegnato. Senza di te? Seeehhhh!

Al *prof Tognotti*, per tutto il materiale che mi ha messo a disposizione.

A *Rauci Luca* (pensa se lo scrivo male!) e *Mari*. Per aver sopportato le mie incursioni

A *Mario* che nonostante la mia latitanza non è mai mancato

A *Chiaromba* e *l'Arbitro* per la complicità

A *the Cellins* e *BD* gli amici di sempre

A *Ciccio* e *Daniela* non devo aggiungere niente

A *Marco*, compagno delle necessarie pause scacciapensieri

Agli amici dell'Erasmus (*Carlino* e *Giorgi* su tutti), se oggi riesco a guardare indietro ed essere contento per quell'esperienza è grazie a voi.

A tutti i ragazzi della Tea Sistemi, *Michela*, *Dario*, *Gianni*, *Edoardo*, *Simone*, *Marco*, *Lucia*, *Elena*, *Vittorio*, *Gemma* per la loro grandissima disponibilità professionale e non solo.

In ordine sparso: *Tiziano*, *Cristina*, *Cavallo*, *Anna*, *the Wall*, *John Kabira*, *i Pesciatini*, *Daniela*, *gli amici delle vacanze*, *Marco* (un sentito ricordo), *gli amici romani*, *Isabel*, *Serena*, *Laura*, *Annamaria*, *Edith*, *Stefano*, *Emilia*, *Letizia*, *Rosalba*, ai "ragazzi della palestra".

A tutti quelli che ho incontrato durante questi anni di università, con i quali ho studiato, mi sono divertito e mi sono annoiato

A *Eni tecnologie* per il supporto tecnico

A Tati.

Indice

RINGRAZIAMENTI.....	3
INDICE.....	6
INDICE DEI GRAFICI.....	9
INTRODUZIONE.....	11
CAPITOLO 1:	
L'INDUSTRIA PETROLIFERA.....	13
L'INDUSTRIA ESTRATTIVA: STORIA, SITUAZIONE, TREND.....	13
I PROCESSI DELL'INDUSTRIA DI ESTRAZIONE DI PETROLIO E GAS.....	15
RILASCIO DI IDROCARBURI.....	18
ANALISI DELLE FREQUENZE DI BLOWOUT.....	19
BLOWOUT: LE CONSEGUENZE.....	22
I GAS INFIAMMABILI.....	23
MISCELE ESPLODIBILI.....	24
CAPITOLO 2:	
IL PROGETTO "BLOWOUT".....	26
INTRODUZIONE.....	26
SCHEMATIZZAZIONE DI UN EVENTO BLOWOUT.....	27
<i>Caratterizzazione del sistema giacimento/pozzo.....</i>	<i>29</i>
<i>Trasporto multifase nel pozzo.....</i>	<i>31</i>
<i>Formazione del getto.....</i>	<i>31</i>
<i>Formazione di gocce.....</i>	<i>33</i>
<i>Dispersione delle gocce.....</i>	<i>33</i>
<i>Dispersione del gas.....</i>	<i>34</i>
BLOWOUT: LE CAUSE.....	34
TIPOLOGIE DI BLOWOUT.....	36
SCOPO DELLA TESI.....	38
LA FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE.....	39
GLI SCENARI DI RIFERIMENTO.....	40
FLUIDI CRITICI E SUBCRITICI.....	43
EFFLUSSI CRITICI: LA SORGENTE EFFETTIVA.....	45
LO SCENARIO 4: IL CASO MULTIFASE.....	47
CAPITOLO 3:	
IL MODELLO DI GETTO IDEALE.....	51
IL MODELLO DI SCHLICHTING.....	51
EQUAZIONE DEL BILANCIO DELLA QUANTITÀ DI MOTO.....	53
EQUAZIONI DEL CAMPO DI VELOCITÀ.....	56
ANGOLO DI APERTURA.....	57
DIFFERENZE FRA LE IPOTESI DI SCHLICHTING E LE CONDIZIONI REALI.....	58
GETTI CIRCOLARI NON CONFINATI: MODELLI DI LETTERATURA.....	59
CAPITOLO 4:	
CAMPO DI VELOCITÀ DEL GETTO.....	61
INTRODUZIONE.....	61

CORREZIONE VELOCITÀ CENTER LINE	61
CORREZIONE VELOCITÀ DI CENTER LINE: APPROCCIO I.....	65
APPROCCIO I: RISULTATI VELOCITÀ CENTER LINE	67
APPROCCIO I: VELOCITÀ RADIALI	71
APPROCCIO I: RISULTATI VELOCITÀ RADIALI	72
<i>Scenario 1</i>	73
<i>Scenario 2</i>	75
<i>Scenario 3</i>	76
<i>Scenario 4</i>	77
CORREZIONE VELOCITÀ DI CENTER LINE: APPROCCIO II	79
APPROCCIO II: RISULTATI VELOCITÀ CENTER LINE.....	83
APPROCCIO II: VELOCITÀ RADIALI.....	85
APPROCCIO II: RISULTATI VELOCITÀ RADIALI	86
<i>Scenario 1</i>	86
<i>Scenario 2</i>	88
<i>Scenario 3</i>	90
 CAPITOLO 5:	
CONCENTRAZIONE DI IDROCARBURO NEL GETTO	92
INTRODUZIONE.....	92
APPROCCIO I	93
FRAZIONE MASSIVA DI CENTER LINE: RISULTATI APPROCCIO I.....	96
FRAZIONI MASSIVE RADIALI: APPROCCIO I.....	99
FRAZIONE MASSIVA RADIALE: RISULTATI APPROCCIO I	99
<i>Scenario 1</i>	100
<i>Scenario 3</i>	102
APPROCCIO II.....	103
FRAZIONE MASSIVA DI CENTER LINE: RISULTATI APPROCCIO II	105
FRAZIONI MASSIVE RADIALI: APPROCCIO II	109
FRAZIONE MASSIVA RADIALE: RISULTATI APPROCCIO II.....	112
<i>Scenario 1</i>	112
<i>Scenario 2</i>	113
<i>Scenario 3</i>	114
 CAPITOLO 6:	
ENTRAINMENT	116
INTRODUZIONE.....	116
APPROCCIO I	117
APPROCCIO I: RISULTATI	120
APPROCCIO II.....	123
APPROCCIO II: RISULTATI	126
 CAPITOLO 7:	
APPLICAZIONE DEL MODELLO: UN CASO REALE	132
INTRODUZIONE.....	132
UN MODELLO DI GETTO COMMERCIALE: OOMS	133
INPUT DI OOMS	134
OUTPUT DI OOMS	135
CONFRONTI FRA OOMS E IL MODELLO SEMPLIFICATO.....	135
SCENARIO APPLICATIVO: RISULTATI E CONFRONTI.....	136
 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	140
RIFERIMENTI DIRETTI	142

CAPITOLO 1.....	142
CAPITOLO 2.....	143
CAPITOLO 3.....	144
BIBLIOGRAFIA.....	145
APPENDICE 1.....	147
APPROCCIO I, VELOCITÀ ASSIALE, RISULTATI REGRESSIONE	147
APPROCCIO II, VELOCITÀ ASSIALE, RISULTATI REGRESSIONE SCENARIO 1	149
APPROCCIO II, VELOCITÀ ASSIALE, RISULTATI REGRESSIONE SCENARIO 2	151
APPROCCIO II, VELOCITÀ ASSIALE, RISULTATI REGRESSIONE SCENARIO 3	153

Indice dei Grafici

Grafico 1: Dati CFD, Scenario 4, profilo di velocità assiale	48
Grafico 2: Dati CFD, Scenario 4, portata cumulativa di entrainment	49
Grafico 3: Confronto velocità assiali CFD e modello ideale di getto	62
Grafico 4: Andamento degli errori relativi per le velocità assiali negli scenari di rif.	64
Grafico 5: curva di regressione scenario 1, APPROCCIO I	66
Grafico 6: Scenario 1, Profili di velocità assiale, APPROCCIO I	68
Grafico 7: Scenario 2, Profili velocità assiali, APPROCCIO I	69
Grafico 8: Scenario 3, Profili velocità assiali, APPROCCIO I	70
Grafico 9: Scenario 4, Profili di velocità assiali, APPROCCIO I	71
Grafico 10: Scenario 1, Profili velocità radiali $z=5$, APPROCCIO I	73
Grafico 11: Scenario 1, Profili velocità radiali $z=20$, APPROCCIO I	73
Grafico 12: Scenario 1, Profili velocità radiali $z=100$, APPROCCIO I	74
Grafico 13: Scenario 2, Profili velocità radiali $z=5$ APPROCCIO I	75
Grafico 14: Scenario 2, Profili velocità radiali $z=20$, APPROCCIO I	75
Grafico 15: Scenario 3, Profili velocità radiali $z=1.5$, APPROCCIO I	76
Grafico 16: Scenario 3, Profili velocità radiali $z=30$, APPROCCIO I	76
Grafico 17: Scenario 4, Profili velocità radiali $z=5$, APPROCCIO I	77
Grafico 18: Scenario 4, Profili velocità radiali $z=20$, APPROCCIO I	77
Grafico 19: Scenario 4, Profili velocità radiali $z=100$, APPROCCIO I	78
Grafico 20: Approccio 2, curva di regressione parametro a	81
Grafico 21: Approccio 2, Curva di regressione parametro b	82
Grafico 22: Scenario 1, Profili di velocità assiali, APPROCCIO II	84
Grafico 23: Scenario 2, Profili di velocità assiali, APPROCCIO II	84
Grafico 24: Scenario 3, Profili di velocità assiali, APPROCCIO II	85
Grafico 25: Scenario 1, Profili velocità radiali $z=5$, APPROCCIO II	86
Grafico 26: Scenario 1, Profili velocità radiali $z=20$, APPROCCIO II	87
Grafico 27: Scenario 1, Profili velocità radiali $z=100$, APPROCCIO II	87
Grafico 28: Scenario 2, Profili velocità radiali $z=5$, APPROCCIO II	88
Grafico 29: Scenario 2, Profili velocità radiali $z=20$. APPROCCIO II	89
Grafico 30: Scenario 2, Profili velocità radiali $z=100$, APPROCCIO II	89
Grafico 31: Scenario 3, Profili velocità radiali $z=1.5$, APPROCCIO II	90
Grafico 32: Scenario 3, Profili velocità radiali $z=6$, APPROCCIO II	91
Grafico 33 Scenario 3, Profili velocità radiali $z=30$, APPROCCIO II	91
Grafico 34: Scenario 1, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO I	96
Grafico 35: Scenario 2, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO I	97
Grafico 36: Scenario 3, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO I	97
Grafico 37: Scenario 4, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO I	98
Grafico 38: Scenario 1, Profili frazione massiva radiali $z=5$	100

Grafico 39: Scenario 1, Profili frazione massiva radiali $z=20$	101
Grafico 40: Scenario 1, Profili frazione massiva radiali $z=100$	101
Grafico 41: Scenario 3, Profili frazione massiva radiali $z=1.5$	102
Grafico 42: Scenario 3, Profili frazione massiva radiali $z=6$	102
Grafico 43: Scenario 1, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO II	106
Grafico 44: Scenario 2, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO II	107
Grafico 45: Scenario 3, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO II	107
Grafico 46: Scenario 4, Profili di frazione massiva assiale, APPROCCIO II	108
Grafico 47: Scenario 1, Profili frazione massiva radiali $z=5$	112
Grafico 48: Scenario 1, Profili frazione massiva radiali $z=20$	113
Grafico 49: Scenario 2, Profili frazione massiva radiali $z=5$	113
Grafico 50: Scenario 2, Profili frazione massiva radiali $z=6$	114
Grafico 51: Scenario 3, Profili frazione massiva radiali $z=1.5$	114
Grafico 52: Scenario 3, Profili frazione massiva radiali $z=6$	61
Grafico 53: Scenario 1, Entrainment Approccio I	121
Grafico 54: Scenario 2, Entrainment Approccio I	121
Grafico 55: Scenario 3, Entrainment Approccio I	122
Grafico 56: Scenario 4, Entrainment Approccio I	122
Grafico 57: Scenario 1, Entrainment Approccio II	126
Grafico 58: Scenario 2, Entrainment Approccio II	127
Grafico 59: Scenario 3, Entrainment Approccio II	127
Grafico 60: Scenario 4, Entrainment Approccio II	128
Grafico 61: Scenario 1 Profili di temperatura Approccio II	130
Grafico 62: Scenario 2 Profili di temperatura Approccio II	130
Grafico 63: Scenario 3 Profili di temperatura Approccio II	131
Grafico 64: Scenario 4 Profili di temperatura Approccio II	131

INTRODUZIONE

Nell'industria del petrolio con il termine "Blow-out" si indica la fuoriuscita incontrollata di idrocarburi liquidi e di gas da un pozzo, sia in fase di perforazione che di produzione.

La presente tesi si colloca nell'ambito del "progetto Blowout", sviluppato da ENI con il supporto tecnico-scientifico di TEA Sistemi. Il progetto ha come obiettivo lo sviluppo di modelli matematici capaci di valutare le conseguenze di questo tipo di incidente, sia per quanto riguarda le aree interessate dalla dispersione dei gas esplosivi e tossici sia per quanto riguarda la ricaduta al suolo delle eventuali piogge di idrocarburi liquidi.

Tra i modelli necessari allo sviluppo di una metodologia integrata di valutazione degli effetti dovuti ad un Blowout di un pozzo di petrolio, in questa tesi è stato sviluppato in particolare un modello di getto turbolento assialsimmetrico

Questo modello ha come base un modello teorico di getto turbolento assialsimmetrico circolare. Le correzioni empiriche apportate a tale modello sono derivate dal confronto diretto di simulazioni di getto effettuate attraverso codici fluidodinamici complessi. Il confronto diretto tra i risultati del modello e le simulazioni permettono la validazione del modello stesso.

Il modello descrive le caratteristiche fisiche (velocità, concentrazione, temperatura) di un getto turbolento monofase e multifase nella fase precedente alla dispersione. Tali caratteristiche possono essere usate come condizioni iniziali di modelli di dispersione e combustione del getto.

Il modello viene poi presentato in una sua applicazione predittiva ad uno scenario reale ed i suoi risultati ottenuti sono paragonati con un altro modello di getto sviluppato da Ooms per applicazioni analoghe.