



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica

Studio dell'epidemia di COVID-19 in Italia mediante modelli compartimentali

Tesi in

Principi di Ingegneria Chimica

Relatori:

Prof. Ing. Gaetano Lamberti

Ing. Diego Caccavo

Candidato:

Giampaolo Curcio

matricola 464000020

Anno Accademico 2019/2020

Questo testo è stato stampato in proprio, in Times New Roman

La data prevista per la discussione della tesi è il 23/10/2020
Fisciano, 09/10/2020

Sommario

Sommario	I
Indice delle figure	V
Indice delle tabelle	Errore. Il segnalibro non è definito.
Abstract	XI
Introduzione	1
1.1 Il SARS-CoV-2 e l'origine dell'epidemia	2
1.2 L'epidemia di COVID-19 in Italia	4
1.3 I modelli compartimentali	6
1.3.1 Il modello SIR	7
1.3.2 Il modello SIS	8
1.3.3 Altri modelli compartimentali	9
1.4 Lo stato dell'arte	11
1.5 Obiettivi	12
Modellazione	15
2.1 Il modello proposto	16
2.1.1 β funzione del tempo	20
2.1.2 c funzione del numero di tamponi	21
2.2 Implementazione del modello	22
2.2.1 I dati epidemiologici	22
2.2.2 I dati Google sulla mobilità	23

2.2.3 Soluzione del modello e ottimizzazione	24
--	----

Risultati e discussione 27

3.1 Lo studio parametrico	28
3.1.1 β al variare di β_0 , a_s , m_r e $t_{\text{start ramp}}$	29
3.1.2 Effetti di β_0 , a_s , m_r e $t_{\text{start ramp}}$	30
3.1.3 Effetto di E_0 e I_0	34
3.1.4 Effetto delle cinetiche a , γ , γ_d e γ_r	36
3.1.5 Effetto di σ , ρ , λ ed ε	40
3.1.6 Effetto delle cinetiche di morte	44
3.1.7 Effetto delle frazioni	47
3.2 I risultati del modello	54
3.2.1 Abruzzo	57
3.2.2 Basilicata	60
3.2.3 Calabria	62
3.2.4 Campania	65
3.2.5 Emilia-Romagna	67
3.2.6 Friuli-Venezia Giulia	69
3.2.7 Lazio	71
3.2.8 Liguria	73
3.2.9 Lombardia	75
3.2.10 Marche	77
3.2.11 Molise	79
3.2.12 P.A. di Bolzano	81
3.2.13 P.A. di Trento	83
3.2.14 Piemonte	85
3.2.15 Puglia	87
3.2.16 Sardegna	89
3.2.17 Sicilia	91
3.2.18 Toscana	93
3.2.19 Umbria	95
3.2.20 Veneto	97

Conclusioni.....101

4.1 Conclusioni _____ 102

Bibliografia.....105

Indice delle figure

Figura 1. Tabella ISS sulla distribuzione di casi e decessi per fasce d'età [5].	3
Figura 2. Rappresentazione del SARS-CoV-2 e della sua sezione [7].	4
Figura 3. Schema a blocchi del modello SIR	7
Figura 4. Schema a blocchi del modello SIS.	9
Figura 5. Schema a blocchi del modello SEIRD.	10
Figura 6. Schema a blocchi del modello proposto.	17
Figura 7. Andamento di β nel tempo e contributo dei singoli parametri.	21
Figura 8. Inizio del lavoro di implementazione del modello.	22
Figura 9. Andamento della funzione fg nel tempo.	24
Figura 10. Andamento di β al variare di β_0 , a_s , m_r e $t_{\text{start ramp}}$.	29
Figura 11. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di β_0 .	30
Figura 12. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di a_s .	31
Figura 13. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di m_r .	32
Figura 14. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di $t_{\text{start ramp}}$.	33
Figura 15. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di E_0 .	34
Figura 16. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di I_0 .	35
Figura 17. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di a .	36
Figura 18. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di γ .	37
Figura 19. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di γ_d .	38
Figura 20. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di γ_r .	39
Figura 21. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di σ .	40
Figura 22. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di ρ .	41
Figura 23. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di λ .	42
Figura 24. Andamento di E, I, I_d , I_r , I_{ti} , R, D ed R_{nt} in funzione di ϵ .	43

Figura 25. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di δ_d	44
Figura 26. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di δ_r	45
Figura 27. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di δ_{ti}	46
Figura 28. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di mc.....	47
Figura 29. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di h.....	48
Figura 30. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di v.....	49
Figura 31. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di z.....	50
Figura 32. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di p.....	51
Figura 33. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di q.....	52
Figura 34. Andamento di E, I, I _d , I _r , I _{ti} , R, D ed R _{nt} in funzione di s.....	53
Figura 35. Descrizione dei dati epidemiologici dell'Abruzzo.....	57
Figura 36. Numero di riproduzione effettivo R _t per l'Abruzzo.....	59
Figura 37. Descrizione dei dati epidemiologici della Basilicata.....	60
Figura 38. Numero di riproduzione effettivo R _t per la Basilicata.....	61
Figura 39. Descrizione dei dati epidemiologici della Calabria.....	62
Figura 40. Numero di riproduzione effettivo R _t per la Calabria.....	63
Figura 41. Descrizione dei dati epidemiologici della Campania.....	65
Figura 42. Numero di riproduzione effettivo R _t per la Campania.....	66
Figura 43. Descrizione dei dati epidemiologici dell'Emilia-Romagna.....	67
Figura 44. Numero di riproduzione effettivo R _t per l'Emilia-Romagna.....	68
Figura 45. Descrizione dei dati epidemiologici del Friuli-Venezia Giulia.....	69
Figura 46. Numero di riproduzione effettivo R _t per il Friuli-Venezia Giulia.....	70
Figura 47. Descrizione dei dati epidemiologici del Lazio.....	71
Figura 48. Numero di riproduzione effettivo R _t per il Lazio.....	72
Figura 49. Descrizione dei dati epidemiologici della Liguria.....	73
Figura 50. Numero di riproduzione effettivo R _t per la Liguria.....	74
Figura 51. Descrizione dei dati epidemiologici della Lombardia.....	75
Figura 52. Numero di riproduzione effettivo R _t per la Lombardia.....	76
Figura 53. Descrizione dei dati epidemiologici delle Marche.....	77
Figura 54. Numero di riproduzione effettivo R _t per le Marche.....	78
Figura 55. Descrizione dei dati epidemiologici del Molise.....	79
Figura 56. Numero di riproduzione effettivo R _t per il Molise.....	80

Figura 57. Descrizione dei dati epidemiologici della P.A. di Bolzano.	81
Figura 58. Numero di riproduzione effettivo R_t per la P.A. di Bolzano.	82
Figura 59. Descrizione dati epidemiologici della P.A. di Trento.	83
Figura 60. Numero di riproduzione effettivo R_t per la P.A. di Trento.	84
Figura 61. Descrizione dei dati epidemiologici del Piemonte.	85
Figura 62. Numero di riproduzione effettivo R_t per il Piemonte.	86
Figura 63. Descrizione dei dati epidemiologici della Puglia.	87
Figura 64. Numero di riproduzione effettivo R_t per la Puglia.	88
Figura 65. Descrizione dei dati epidemiologici della Sardegna.	89
Figura 66. Numero di riproduzione effettivo R_t per la Sardegna.	90
Figura 67. Descrizione dei dati epidemiologici della Sicilia.	91
Figura 68. Numero di riproduzione effettivo R_t per la Sicilia.	92
Figura 69. Descrizione dei dati epidemiologici della Toscana.	93
Figura 70. Numero di riproduzione effettivo R_t per la Toscana.	94
Figura 71. Descrizione dei dati epidemiologici dell'Umbria.	95
Figura 72. Numero di riproduzione effettivo R_t per l'Umbria.	96
Figura 73. Descrizione dei dati epidemiologici del Veneto.	97
Figura 74. Numero di riproduzione effettivo R_t per il Veneto.	98

Indice delle tabelle

Tabella 1. Parametri utilizzati nello studio parametrico	28
Tabella 2. Parametri fissi utilizzati nel modello, uguali per tutte le regioni	54
Tabella 3. Valori medi dei parametri variabili.....	56
Tabella 4. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Abruzzo	58
Tabella 5. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Basilicata	61
Tabella 6. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Calabria	63
Tabella 7. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Campania.....	65
Tabella 8. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Emilia-Romagna.....	67
Tabella 9. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Friuli-Venezia Giulia.....	70
Tabella 10. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Lazio	72
Tabella 11. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Liguria	74
Tabella 12. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Lombardia.....	76
Tabella 13. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Marche.....	78
Tabella 14. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Molise	79
Tabella 15. Valori dei parametri ottimizzati per la P.A. di Bolzano.....	82
Tabella 16. Valori dei parametri ottimizzati per la P.A. di Trento	84
Tabella 17. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Piemonte.....	86
Tabella 18. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Puglia.....	88
Tabella 19. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Sardegna	90
Tabella 20. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Sicilia.....	92
Tabella 21. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Toscana.....	94
Tabella 22. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Umbria.....	95
Tabella 23. Valori dei parametri ottimizzati per la regione Veneto.....	98

Abstract

This work focuses on the COVID-19 outbreak in Italy, event that has changed people's lifestyle and afflicted country's economy.

SARS-CoV-2 has spread in China at the end of 2019, and has officially arrived in Italy on the 21th of February 2020, causing at 7 October over 36.000 deaths and 334.000 infected. The lockdown has affected the whole country from 9th March, and had a positive impact on the spread of the virus, reducing the outbreaks in the country. Unfortunately, after the summer the cases started to increase again.

Through a modified compartmental model SEIRD, with the addition of new compartments such as "Infected hospitalized in ward", "Infected in intensive care unit", and "Infected in home isolation", it was described the trend of the COVID-19 outbreak in the Italian regions, considering the effect of mobility restrictions imposed by Italian Authorities and the resurgence of infections during the summer months.

The developed mathematical model is composed of differential equations of first order, and it was implemented and solved in MATLAB. The epidemiological data were imported by the data daily provided by Protezione Civile. Firstly, it was realized a parametrical sweep study to evaluate the impact of the parameters of the model (kinetics and fractions of population involved) on the modeling results. Finally, through the optimization of the parameters of the model, the difference between experimental and modeling data was minimized. In this way it was possible to described the outbreak of COVID-19 in the Italian regions, using fixed kinetics and optimized fractions, with related graphics, and discussed results of model and regional differences.

Bibliografia

1. WHO. Q&A: How is COVID-19 transmitted? (2020); <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-how-is-covid-19-transmitted>
2. WHO. Q&A on coronaviruses (COVID-19). What are symptoms of COVID-19? (2020); <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/q-a-coronaviruses>
3. WHO. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report–73 (2020) pag.2; <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200402-sitrep-73-Covid-19.pdf>
4. AIFA. Farmaci utilizzabili per il trattamento della malattia COVID-19 (2020); <https://www.aifa.gov.it/aggiornamento-sui-farmaci-utilizzabili-per-il-trattamento-della-malattia-covid19>
5. ISS. Epidemia COVID-19 Aggiornamento nazionale 22 settembre 2020; https://www.epicentro.iss.it/coronavirus/bollettino/Bollettino-sorveglianza-integrata-COVID-19_22-settembre-2020.pdf
6. Li X., Giorgi E., et al., Emergence of SARS-CoV-2 through recombination and strong purifying selection, *Science Advances* (2020); <https://advances.sciencemag.org/content/advances/6/27/eabb9153.full.pdf>
7. Immagine. Rappresentazione del SARS-CoV-2 e sua sezione; <https://www.scientificanimations.com/wp-content/uploads/2020/01/3D-medical-animation-corona-virus.jpg>
8. ISS. Studio ISS su acque di scarico, a Milano e Torino Sars-Cov-2 presente già a dicembre (2020); https://www.iss.it/web/guest/primopiano/-/asset_publisher/o4oGR9qmvUz9/content/id/5422725
9. ISTAT. Primi risultati dell'indagine di sieroprevalenza SARS-CoV-2 (2020) <https://www.slideshare.net/slideistat/primi-risultati-dellindagine-di-sieroprevalenza-sarscov2>

10. Bernoulli, D., Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite verole (1766);
 11. Kermack, W., Mc McKendrick, A., A contribution to the Mathematical Theory of Epidemics (1927);
 12. Brauer, F., van den Driessche, P., Wu, J., Mathematical Epidemiology (1945);
 13. Caccavo, D., Chinese and Italian COVID-19 outbreaks can be correctly described by a modified SIRD model (2020); https://www.researchgate.net/publication/340078430_Chinese_and_Italian_COVID-19_outbreaks_can_be_correctly_described_by_a_modified_SIRD_model
 14. Tian, H., Liu, Y., et al., An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China, *Science*, (2020);
 15. Gatto, M., Bertuzzo, E., et al., Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy: Effects of emergency containment measures (2020); <https://www.pnas.org/content/117/19/10484>
 16. Khailaie, S., Mitra, T., et al., Development of the reproduction number from coronavirus SARS-CoV-2 case data in Germany and implications for political measures (2020); <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.04.20053637v2>
 17. Dipartimento della Protezione Civile. Dati COVID-19 (2020); <https://github.com/pcm-dpc/COVID-19>
 18. Google LLC. Google COVID-19 Community Mobility Reports; <https://www.google.com/covid19/mobility/>
 19. ISS. FAQ sul calcolo del R_t (2020); https://www.iss.it/primo-piano/-/asset_publisher/o4oGR9qmvUz9/content/id/5477037#:~:text=R0%20e%20Rt%20possono%20essere,totale%20di%20nuove%20infezioni%20giornaliere.
 20. Seow, J., Graham, C., Longitudinal evaluation and decline of antibody responses in SARS-CoV-2 infection (2020); <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.07.09.20148429v1.full.pdf>
-