

Un modello per la stima dell'andamento del contagio da COVID-19 in Italia*

Federico Brogi
fedebrogi@istat.it

Barbara Guardabascio
guardabascio@istat.it

17 Marzo 2020

Abstract

In questo *paper* si propone un modello per stimare la curva della trasmissione del COVID-19 tra la popolazione in Italia, partendo da un parallelo con quanto appena accaduto in Cina e considerando principalmente gli andamenti del contagio, le misure restrittive messe in campo dai governi per limitare l'epidemia ed altri fattori ritenuti importanti.

Con l'obiettivo di essere utili nell'affrontare l'attuale situazione, con questa ricerca si stimano per l'Italia, con un modello e un *framework* teorico replicabili anche per altri Paesi (o altre variabili), il giorno di picco nel numero dei nuovi contagiati ed il tempo necessario per arrivare ad un numero di nuovi contagi giornaliero pari a zero.

Si cerca inoltre di dare una misura dell'effetto contenitivo del contagio prodotto dalle politiche restrittive poste in essere dall'attuale governo.

1 Introduzione

L'epidemia da COVID-19 iniziata in Cina nel dicembre del 2019 è arrivata a colpire tutto il mondo raggiungendo livelli pandemici. Al momento il secondo Paese colpito da una larga diffusione è stato l'Italia, sia in ordine di tempo che per numero di contagiati totali. I primi casi di persone positive al tampone sono stati registrati in Italia già il 21 febbraio 2020. Al momento la Cina ha superato gli 80.000 contagiati totali e l'Italia quota 30.000.

Rispetto alle epidemie più recenti (SARS, influenza spagnola etc.), il virus COVID-19 si è diffuso rapidamente in tutto il mondo dimostrando una altissima capacità di trasmissione, obbligando i governi dei Paesi colpiti ad emanare misure di contenimento come la cosiddetta "distanza sociale", la quarantena, la chiusura di esercizi commerciali etc. fino ad arrivare alla chiusura vera e propria di città e regioni come ultimo argine alla diffusione del virus.

La rapida *escalation* di misure restrittive adottate dai governi si è resa necessaria per arginare la trasmissione di un virus che si è rivelato, oltre che particolarmente letale, anche capace di mettere fortemente in crisi qualunque sistema sanitario per l'alto numero di contagi che possono emergere in poco tempo, per la lunghezza della degenza dei malati e per la mancanza di una cura definitiva.

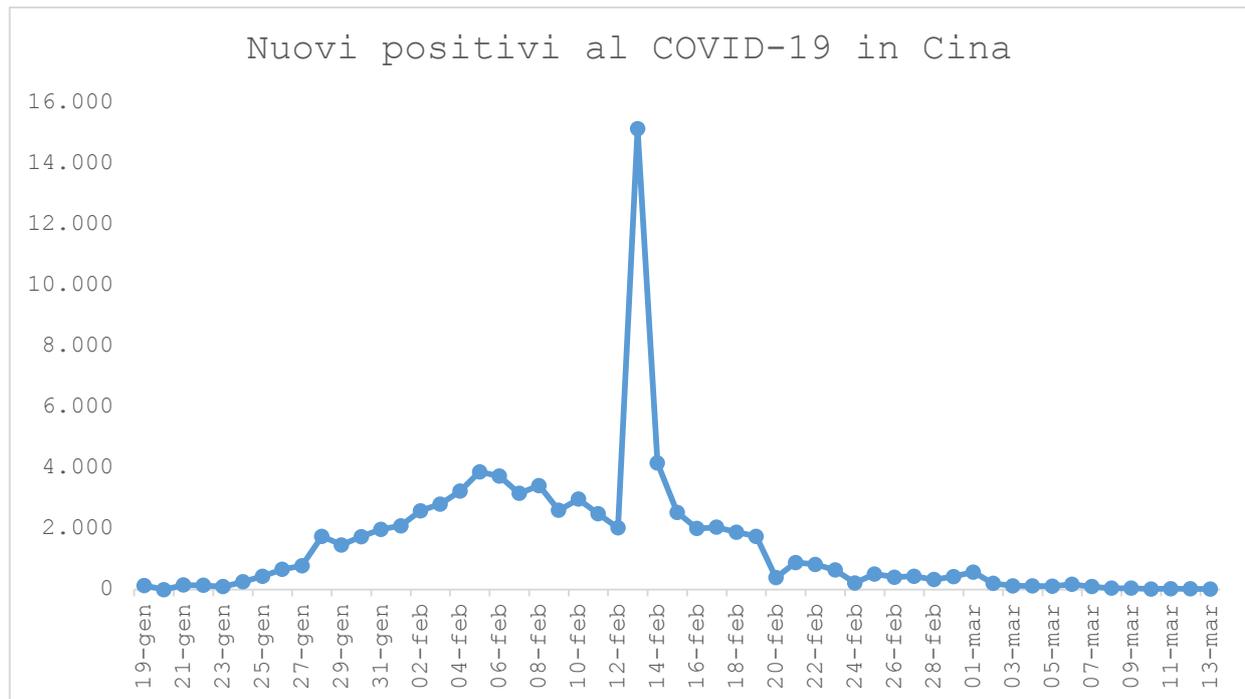
* Il testo e il contenuto di questo articolo sono espressione della visione degli autori e non dell'istituto per il quale lavorano.

1.1 Il caso cinese

Il giorno 8 dicembre 2019 è stato designato come probabile "primo giorno" in cui il virus ha infettato il primo gruppo di soggetti ad Wuhan in Cina nella provincia di Hubei.

Ad oggi in Cina, dopo picchi giornalieri di migliaia di nuovi malati, si è arrivati ad una media di 23 nuovi contagiati al giorno nell'ultima settimana.

Il grafico che segue mostra l'andamento giornaliero del numero dei nuovi contagiati in Cina.



Fonte: EDCD, European Centre for Disease Prevention and Control

La rapida diffusione del virus ha portato il governo Cinese ad emanare misure restrittive per oltre 100 milioni di persone, principalmente nelle due province di Hubei (23-25 gennaio) e Zhejiang (2-6-15 febbraio).

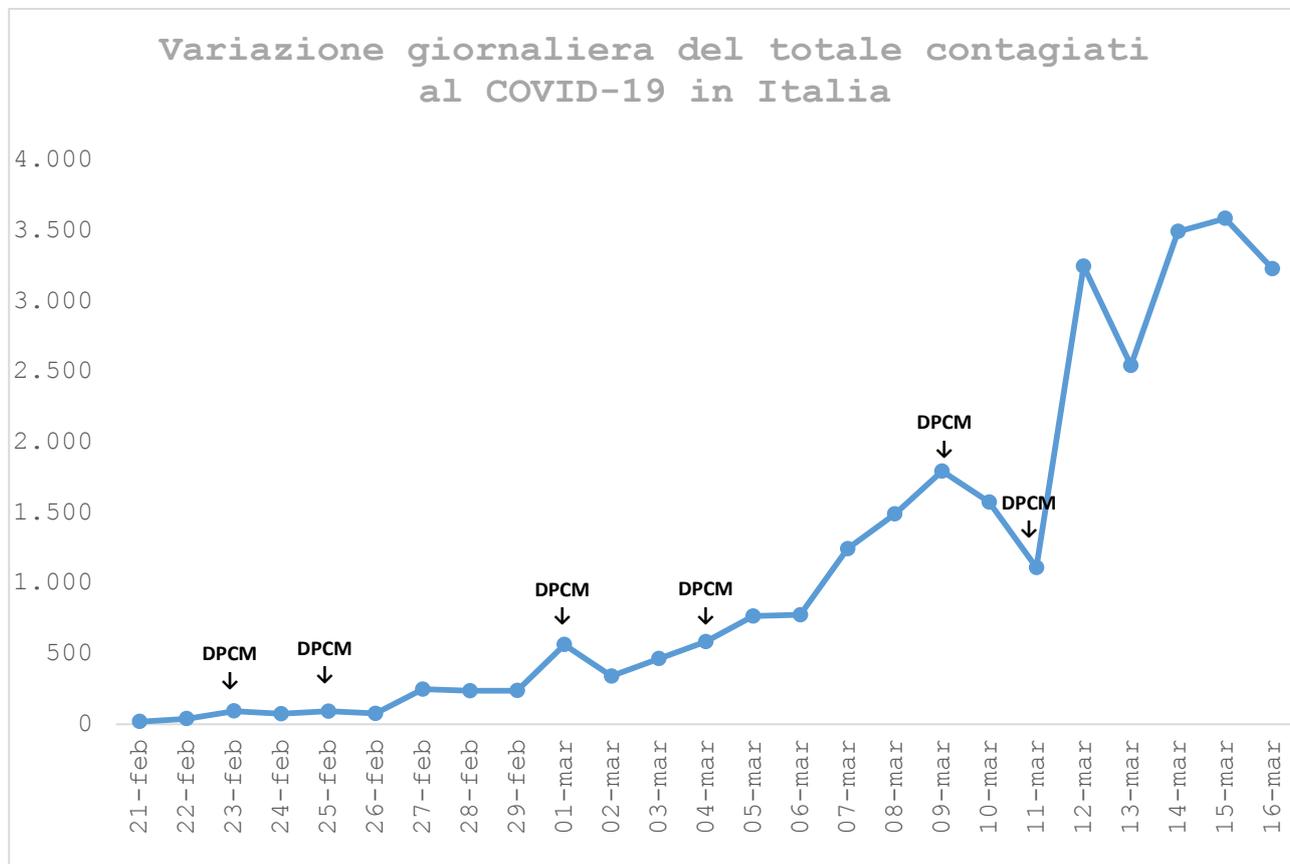
Le autorità cinesi sono arrivate a sospendere aerei, treni, autobus e traghetti in entrata e in uscita da Wuhan estendendo, successivamente, il divieto anche ai veicoli privati. Per aiutare a limitare la diffusione del virus, l'autorità sanitaria di Wuhan ha reso obbligatorio l'utilizzo di maschere facciali nei luoghi pubblici. Nonostante queste misure cautelari, poiché il virus è risultato essere asintomatico ma infettivo durante l'incubazione, le autorità hanno reputato necessario emettere ulteriori provvedimenti di limitazione dei movimenti personali in cui, ad esempio, si è permesso ad una sola persona per famiglia di lasciare la propria casa ogni due giorni.

1.2 La situazione in Italia

In Italia il virus si è diffuso, dapprima, maggiormente in Lombardia e nelle regioni del nord per poi raggiungere tutto il Paese. Il governo italiano ha emanato decreti legge sempre più stringenti al crescere del numero dei casi e della consapevolezza che ci si stesse trovando in una situazione senza precedenti.

Di seguito si mostrano, nel grafico, l'aumento giornaliero in valori assoluti del numero totale dei contagiati in Italia con l'indicazione della data dei principali Decreti del Presidente del Consiglio dei Ministri, emanati a fronte della crescente emergenza.

Nella successiva tabella si riepilogano in estrema sintesi i principali provvedimenti.



Fonte: elaborazione su dati Protezione Civile

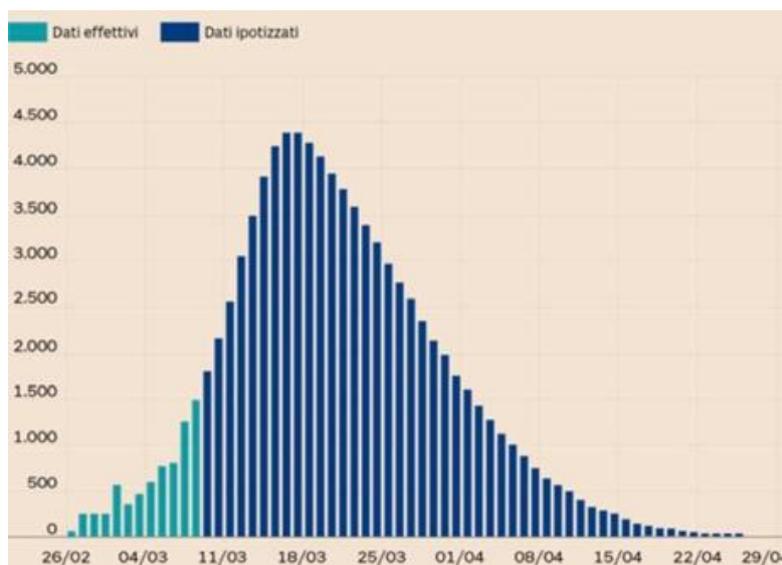
Tabella 1. Cronologia delle principali misure restrittive emesse in Italia

23-feb	Creazione della zona rossa per 11 Comuni
25-feb	Estensione di alcuni provvedimenti a 6 Regioni
01-mar	Misure distinte per varie zone e Province/Regioni
04-mar	Chiusura scuole e università
09-mar	Estensione delle misure restrittive a tutta Italia
11-mar	Ulteriori restrizioni e chiusure esercizi commerciali

Nella bozza del 14/3 di decreto fiscale, il governo ha fornito una previsione dell'andamento dei positivi da Coronavirus stimata sulla base dei dati dei contagi fino all'8 marzo, ipotizzando un andamento futuro dei contagi giornalieri che prevede un raddoppio dei contagi in circa 3 giorni fino a metà marzo e, successivamente, un graduale calo dovuto alle misure di contenimento varate dal governo.

Questo andamento porterebbe, secondo il governo, ad un numero di soggetti contagiati complessivi pari a circa 92.000 con il picco dei nuovi contagi

giornalieri stimato per il 18 marzo¹, come riportato nel grafico che segue inserito all'interno della relazione tecnica alla bozza di decreto.



Fonte: bozza decreto ministeriale - 14 marzo 2020

2. Modello

2.1 Popolazione di riferimento e diffusione del virus

Il modello utilizzato prende come riferimento il lavoro di Chenlin et al.(2020)². In base al loro studio, è possibile suddividere la popolazione infetta in tre sotto-gruppi:

1. $I_c: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{Z}$ individui **contagiati, rilevati dal tampone**
2. $I_a: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{Z}$ individui **contagiati attivi, non rilevati dal tampone**
3. $I_q: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{Z}$ individui **contagiati non confermati, in quarantena**

Il numero totale delle infezioni è dato dalla equazione:

$$I(t) = I_c(t) + I_a(t) + I_q(t) \quad (1)$$

Il processo di diffusione può essere descritto nel modo seguente:

1. Infezione: il processo di trasmissione dell'infezione parte dal paziente zero. Ciascun individuo prima che gli venga confermata la quarantena ha una tasso β di infettare. Tale tasso può essere espresso da una distribuzione di Poisson che identifica la capacità del virus di espandersi in assenza di vincoli:

$$E[I(t)] = I(0)\exp(\beta t) \quad (2)$$

2. Periodo di incubazione: Prima di mostrare i sintomi, un paziente ha un periodo di incubazione che è rappresentato da un tempo variabile

¹ <https://www.ilsole24ore.com/art/coronavirus-governo-stima-92mila-contagi-picco-18-marzo-ADfgS9C>

² Chenlin G., Wei J., Tianyuan Z. and Ban Z. (2020), Mathematical ecommendations to fight against COVID-19

$T > 0$. Dalla statistica sappiamo che T si distribuisce secondo una distribuzione Gamma³

$$p(t) = \frac{b^n}{\Gamma(n)} t^{n-1} e^{-bt} \quad (3)$$

il cui valore atteso⁴, nel caso del Covid-19, è stato stimato pari a $E(T) = 7.5$.

3. Positività: Dopo il periodo di incubazione, i sintomi appaiono e l'infezione del paziente viene confermata dal tampone con una probabilità $\theta \in [0,1]$. L'ottimo sarebbe avere un valore di $\theta = 1$, il che vorrebbe dire che tutti i casi che si manifestano nella popolazione sono prontamente rilevati dal tampone.
4. Quarantena: Un caso confermato viene isolato e tutti coloro che entrano in contatto con lui vengono messi in quarantena con una probabilità $\alpha \in [0,1]$.

2.2 Parametri

Tenuto conto che la contagiosità di un individuo infetto dura mediamente 7.5 giorni $E(T) = 7.5$, definiamo individui contagiosi (I) tutti coloro che si sono ammalati nei sette giorni precedenti. Un individuo contagiato di norma mantiene il virus in incubazione per un periodo variabile da 5 a 7 giorni prima che lo stesso si manifesti. Per questo motivo il valore di T si considera variabile in un intervallo $[0,15]$.

Se ciascun individuo può essere contagioso nei sette giorni successivi il giorno dell'infezione, è possibile esprimere il tasso di contagio:

$$\beta = \frac{I_t}{\sum_{i=t-7}^{t-1} I_i} \quad (4)$$

Considerando quale data di inizio del contagio in Italia il 21 febbraio 2020 alla data del 28 febbraio 2020 (ovvero esattamente sette giorni dopo il primo contagio in Italia) il tasso di contagio β in Italia risulta essere pari a 0.29. Tale valore indica il numero di persone che ciascun infetto, in media, contagia per ciascuno dei 7 giorni in cui è contagioso.

Pertanto, seguendo lo schema riproposto da Chelin & al. (2020), i parametri di riferimento di espansione del virus appena arrivato in Italia possono essere riassunti nella seguente tabella:

Tabella 2. Parametri iniziali del modello

Variabile	Valore (Intervallo)	Definizione
T	$[0,15]$	Periodo di incubazione dall'infezione al sintomo
θ	$[0,1]$	Tasso di positività sui tamponi effettuati
β	0.29	Tasso di contaminazione
α	$[0,1]$	Probabilità di finire in quarantena

³Come noto, infatti, la distribuzione Gamma viene utilizzata come modello generale dei tempi di attesa nella teoria delle code.

⁴Shao et al. (2020) e Chenlin & al. (2020).

Ovviamente considerando i tre gruppi di popolazione precedenti, il gruppo dei contagiati non rilevati dal tampone (I_a) sono coloro che di fatto possono espandere l'epidemia. L'obiettivo, di una qualsiasi policy, deve essere quello di trasformare I_a in I_c accertando il loro contagio attraverso i tamponi oppure in I_q mettendoli in quarantena e limitandone i possibili danni.

2.3 Numero riproduttivo

Strettamente collegato con il valore del parametro di contagio β , vi è il *numero riproduttivo* R_0 , un altro parametro molto importante, utilizzato per misurare il rischio epidemico. In relazione al suo valore è possibile distinguere tre diverse fasi dell'epidemia:

1. Supercritica: $R_0 > 1$, in questo caso l'epidemia presenta una crescita esponenziale
2. Critica: $R_0 = 1$, l'epidemia permane per un lungo periodo
3. Sub-critica: $R_0 < 1$, l'epidemia risulta controllata.

Nell'ipotesi in cui $\theta = 1$ i tamponi possono essere fatti con certezza ed immediatezza senza errori, $\alpha = 0$ non ci sono politiche di quarantena per chiunque sia entrato in contatto con un contagiato:

$$R_0 = \beta E[T] \quad (5)$$

In caso contrario, Chelin & al. (2020) dimostrano che R_0 converge asintoticamente al seguente valore:

$$\tilde{R}_0 \simeq \frac{\beta(1-\alpha)}{\theta} E[T] \quad (6)$$

A partire da questa equazione si deduce che al fine di contenere il valore di \tilde{R}_0 è possibile attuare diverse strategie:

1. Ridurre il tasso di contagio β evitando il contatto negli spazi pubblici tra gli individui.
2. Rendere il valore θ dei controlli prossimo ad 1, migliorando la precisione delle diagnostiche ed incrementando il numero di test (trasformando I_a in I_c).
3. Incrementare il tasso α di quarantena al fine di isolare i casi confermati ed evitare il contagio (trasformando I_a in I_q).

3 Applicazione Empirica

L'applicazione empirica consta di due parti: una prima di simulazione, in cui, partendo dalla curva teorica di espansione del virus si è cercato di pervenire ad una stima percentuale di contenimento dello stesso indotta dall'adozione delle diverse politiche introdotte dal governo italiano e, una seconda di previsione, in cui, utilizzando varie tecniche e facendo alcune ipotesi, sono stati individuati diversi scenari relativi all'andamento del contagio in Italia.

3.1 Dati

Per l'esercizio empirico sono stati adottati dati giornalieri relativi al periodo 21 febbraio 2020 - 17 marzo 2020. Il database diffuso dalla Protezione Civile contiene le seguenti le variabili:

1. nuovi attualmente positivi
1. ricoverati con sintomi
2. terapia intensiva totale
3. totale ospedalizzati
4. isolamento domiciliare
5. totale attivi positivi
6. dimessi guariti
7. deceduti
8. totale casi
9. tamponi giornalieri.

Per la stima sono stati utilizzate le variabili: nuovi attualmente positivi, totale casi e tamponi giornalieri. La disponibilità di altre variabili apre la possibilità in futuro ad alimentare il modello con ulteriori elementi e/o l'eventualità di effettuare stime su altri aggregati.

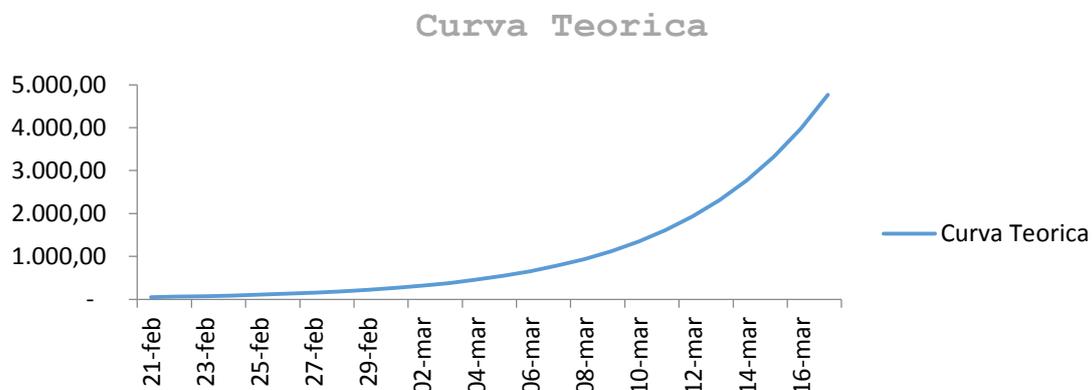
Per lo studio dell'andamento cinese, sono stati utilizzati i dati forniti da EDCD, European Centre for Disease Prevention and Control sui nuovi casi giornalieri per il periodo 19 gennaio 2020 - 17 marzo 2020.

3.2 Parametri di riferimento in Italia

Tenuto conto che l'espansione del virus segue una curva esponenziale, si è provveduto alla ricostruzione della curva teorica del contagio, utilizzando il sotto-campione (21 - 29 febbraio) di osservazioni antecedente le misure restrittive più rilevanti e regredendo la trasformata logaritmica della serie storica *casi positivi attivi in Italia (PosIta)* sul tempo. Ne è scaturita la seguente equazione stimata:

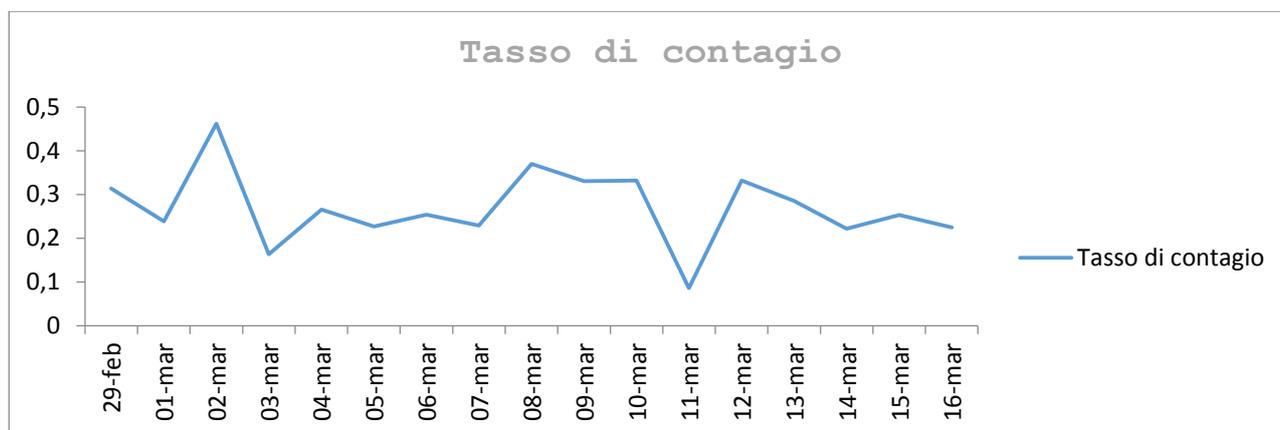
$$\ln(PosIta) = 3,33595 + 0,25778 \cdot t$$

cui corrisponde un tasso di contaminazione $\beta = 0,352^5$, un numero riproduttivo $R_0 = 2.46$ ed una curva teorica rappresentata alla data odierna nella seguente figura:



⁵ Per calcolare il beta teorico si applica la formula 4 sulla serie $\exp(3,33595 + 0,25778 \cdot t)$.

Si noti che, essendo i primi dati di contagio riferiti esclusivamente alla zona rossa, il valore iniziale del tasso di contagio $\beta = 0,29$ risulta leggermente inferiore a quello stimato alla data del 29 febbraio $\beta = 0,352$. In questa equazione, infatti, si tiene conto anche di dati successivi che comprendono un territorio già più vasto. Il parametro subirà comunque nei giorni a seguire una fase di crescita a seguito della ulteriore espansione a livello spaziale del virus per poi decrescere nuovamente per effetto delle misure restrittive adottate dal governo. Il risultato ottenuto sul numero riproduttivo in Italia risulta in linea con quanto dichiarato dalla comunità scientifica circa la contagiosità del virus che assegna al COVID-19 un $R_0 = 2.6^6$. Alla luce di tale risultato, nello sviluppo del paper si considererà il valore di $\beta = 0,352$ quale beta teorico per definire la frontiera del contagio in Italia.



Fonte: elaborazione su dati Protezione Civile

Il **tasso di quarantena** (α) è stato determinato a partire dalle varie *policy* restrittive utilizzate dal governo Italiano per limitare la diffusione del contagio.

I valori di α proposti da Chenlin et al, che crescono all'aumentare della capacità restrittiva delle *policy* messe in atto, sono i seguenti:

- Misure deboli = 0.2
- Misure normali = 0.4
- Misure forti = 0.6
- Misure molto forti = 0.8

In questo lavoro si è cercato di calibrare tali valori tenendo conto delle principali *policy* adottate dal governo italiano. A tale scopo, i valori proposti da Chenlin et al. sono stati pesati utilizzando la percentuale di popolazione coinvolta nel provvedimento quale elemento di ponderazione (per un maggiore dettaglio si veda l'allegato 1). Di seguito si riportano i principali provvedimenti emessi⁷ in ordine cronologico con indicato il totale dei contagiati in Italia al momento dell'adozione del provvedimento ed i relativi valori di α e α pesato per la relativa popolazione.

⁶ Dato Istituto Superiore di Sanità

⁷ Provvedimenti ritenuti principali nel documento della Protezione Civile "Chronology of main steps and legal acts taken by the Italian Government for the containment of the COVID-19 epidemiological emergency. Updated at 12 of March 2020".

Tabella 3. Stima di α pesato

Data	Totale casi	Provvedimento	% Popolazione interessata	α	α pesato
23-feb	221	Creazione della zona rossa	0,08	0,80	0,001
25-feb	229	Misure urgenti in materia di contenimento e gestione dell'emergenza	43,89	0,20	0,09
01-mar	1.337	Misure per proteggere le aree a rischio	0,10	0,80	0,22
			36,40	0,60	
08-mar	6.387	Due livelli di zone di protezione	4,72	0,75	0,61
			95,30	0,60	
09-mar	7.985	Creazione di una sola zona di protezione	100,00	0,75	0,75
11-mar	12.462	Consolidamento della singola zona di protezione	100,00	0,80	0,80

Ragionando sempre in termini di *policy* di quarantena attuate, si può introdurre un ulteriore elemento di *compliance* dei soggetti sottoposti a restrizione, inteso come il rispetto delle regole di restrizione imposte. Questo è un aspetto che può variare sia da Paese a Paese che nell'arco del periodo dell'epidemia per molti motivi.

Se in questo caso possiamo pensare che in Cina il rispetto delle regole possa esser stato più rigoroso, lo studioso può ritenere che nel proprio Paese questo avvenga in misura inferiore. Una *compliance* imperfetta riduce il valore di alfa, per cui si può pensare di inflazionare in qualche modo quel valore.

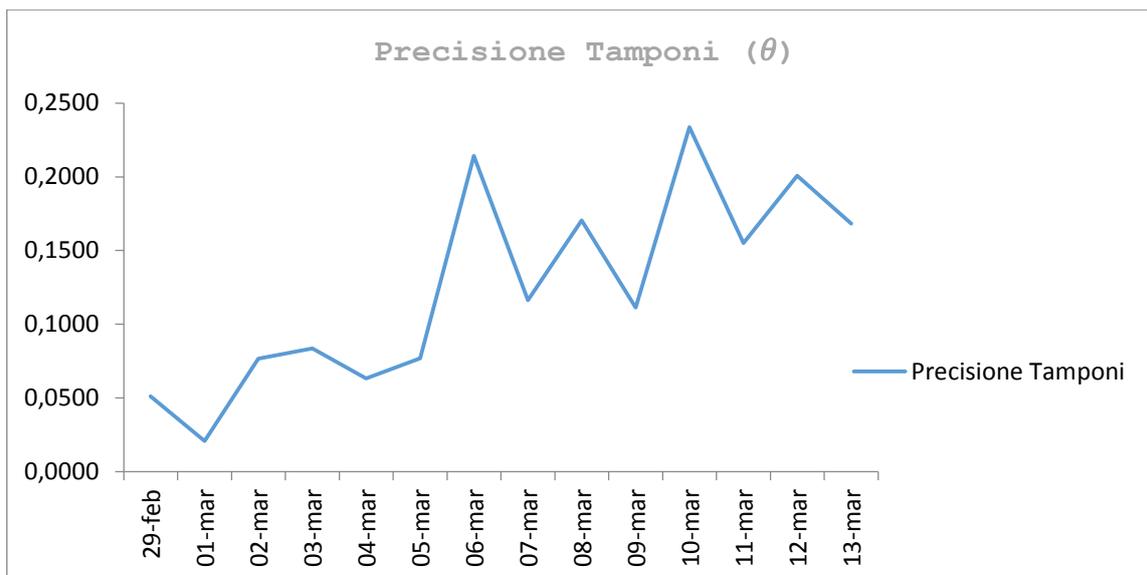
In Italia ad esempio, i controlli effettuati dalla polizia in seguito all'ultimo decreto legge⁸, hanno evidenziato un numero medio di circa 5.000 denunce per inosservanza delle leggi emanate in tema di limitazione degli spostamenti nei primi 4 giorni dal decreto, su una media di circa 135.000 controlli giornalieri in tutta Italia. Non avendo dati a sufficienza per stimare il valore della *compliance* in termini di percentuale di α , si è cercato di tenere conto di tale fenomeno intervenendo sul livello di contagio indicato da β . In sostanza non lasciando decrescere il valore di β nel tempo e, mantenendolo fisso al suo valore teorico, si ritiene di considerare l'ipotesi in cui, sebbene ci siano restrizioni, l'assenza di adozione da parte degli individui delle stesse non fa calare il livello di contagio.

Precisione dei tamponi (θ), tale parametro è stato stimato rapportando i numeri di casi confermati sul totale dei tamponi effettuati giorno per giorno

$$\theta = \frac{PosIta_t}{Tamponi_t} \quad (7)$$

ne scaturisce la curva rappresentata nella seguente figura.

⁸ <https://www.interno.gov.it/it/coronavirus-i-dati-dei-servizi-controllo>



Fonte: elaborazione su dati Protezione Civile

3.3 Simulazione dell'effetto delle policy

Individuate le variazioni indotte sui singoli parametri dalle diverse *policy* adottate dal governo Italiano è stato possibile procedere alla ricostruzione di una nuova curva teorica vincolata, a partire dalla quale, si è stimato l'effetto (in termini percentuali) di contenimento del contagio generato da ciascuna *policy*.

Nella tabella che segue sono riportati la data del provvedimento, il tipo di provvedimento adottato, i parametri (α, θ) stimati e la misura in percentuale di riduzione del contagio determinata dall'adozione di una nuova *policy* rispetto alla precedentemente.

Tabella 4. Effetto di ciascun provvedimento sul contagio in tempo reale (%)

Data	Provvedimento	α	θ	Riduzione contagio rispetto al periodo precedente (%)
29-feb	Valori parametri precedenti alle <i>policy</i>	0,0880	0,0769	-
01-mar	Misure per proteggere le aree a rischio	0,1713	0,2200	76,85% *
08-mar	Due livelli di zone di protezione	0,1858	0,6100	15,55%
09-mar	Creazione di una sola zona di protezione	0,1841	0,7500	16,23%
11-mar	Consolidamento della singola zona di protezione	0,1891	0,800	20,00%

* Si noti che questo dato riferisce alla sola zona rossa

Sulla base dei risultati riassunti nella tabella 4, scaturisce che le misure adottate hanno ridotto significativamente il livello di contagio. In particolare la chiusura della zona rossa il 1 marzo ha determinato una riduzione dei contagi pari al 76,85% nel territorio. Tale misura ha fatto sì che ad oggi nei comuni oggetto di restrizione non ci siano più casi.

Le percentuali relative agli altri interventi governativi indicano di quanto le restrizioni introdotte con il nuovo decreto riescono a ridurre i contagi rispetto alla misura adottata in precedenza.

Dai risultati emerge che ciascun intervento adottato ha ridotto di almeno il 15% il rischio di contagio dei giorni precedenti. Sicuramente la quarantena obbligatoria e l'assenza di contatto rappresenta più dell'aumento dei tamponi la strategia più impattante sul contagio.

Prescindendo dall'effetto determinato nel tempo dai decreti emanati in Italia, per essere di supporto anche a tutti quei governi che devono scegliere la *policy* più efficace per contrastare il COVID-19, si è provveduto a valutare l'effetto che ciascun intervento può determinare direttamente sulla curva teorica.

Per fare ciò si è proceduto facendo variare un parametro alla volta e valutando a parità di condizioni il peso percentuale dello scostamento tra la curva teorica e quella vincolata rispetto al dato riportato sulla curva teorica.

La tabella che segue mostra il risultato di alcune simulazioni in cui si mostra il guadagno percentuale in termini di numero di nuovi contagi per alcuni valori dei parametri alfa e theta. Il valore di alfa rappresenta sempre il tasso di quarantena, ovvero quanto sono state restrittive le *policy* messe in campo. Theta invece riguarda la precisione della diagnostica ovvero la capacità del sistema sanitario di intercettare il virus attraverso i test tampone.

Il caso indicato in tabella come "Tutte le policy" riguarda la simulazione del modello relativo al caso attuale italiano di cui si è parlato. L'alfa indicato è un valore medio di riferimento derivato da tutti i valori di alfa pesati descritti nel paragrafo precedente, utile come sintesi per un confronto con le altre *policy*. In un caso concreto il valore di alfa cambia nell'arco dell'epidemia perché è verosimile che un governo, di fronte ad un contagio di tipo esponenziale, metta in campo misure sempre più restrittive rispetto a un fenomeno di difficile contenimento. Il valore di theta è reale e calcolato grazie ai dati pubblicati giornalmente dalla Protezione Civile come descritto in precedenza. Anche questo valore riportato in tabella è un valore di sintesi di tutti i valori di theta giornalieri. Con il modello si stima perciò che il governo italiano ha ottenuto un guadagno del 91.1% rispetto alla curva teorica del contagio, utilizzata come riferimento.

Tabella 5. Effetto di ciascun provvedimento sul contagio (%)

Simulazione	α	θ	Guadagno % in termini di contagi
Tutte le policy	0,640	0,1716	91,1%
Solo policy 1 marzo	0,220	0,0769	14,3%
Solo policy 8 marzo	0,610	0,0769	57,2%
Solo policy 9 marzo	0,750	0,0769	72,6%
Solo policy 11 marzo	0,800	0,0769	78,1%
Alta precisione tamponi	0,088	0,1891	59,3%

Le altre simulazioni nella tabella forniscono una stima del guadagno che si ottiene al variare del tipo di *policy* adottato, sempre nel confronto con la curva teorica.

Per vedere il guadagno in termini di contagio al variare del tasso di quarantena, si suppone un valore basso di theta (0.0769 in questo caso) per massimizzare l'effetto della *policy* di quarantena. Se il governo

Italiano avesse adottato solo misure di quarantena come quella adottata il primo marzo, per cui abbiamo calcolato un alfa pari a 0.22, il guadagno percentuale rispetto alla curva teorica sarebbe stato del 14.3%. All'aumentare di alfa il guadagno dalla curva teorica cresce fino al 78.1% considerando il valore di alfa massimo e pari a 0.8.

Per valutare il guadagno variando la precisione dei tamponi, nella simulazione "Alta precisione tamponi" si è posto un valore di theta ancora più alto del caso iniziale ponendo il valore di alfa ad un minimo. In questo caso il guadagno arriva ad essere del 59.3%, sottolineando quanto la capacità diagnostica sia un fattore contenitivo del contagio esattamente quanto le politiche di tipo restrittivo.

Nel prossimo sotto-paragrafo sarà elaborato un esercizio di previsione che tenga conto di tutte policy adottate fino ad ora dal governo Italiano.

3.4 Previsione dei contagi in Italia

Una volta definiti gli effetti contenitivi generati da ciascuna policy si è tentato di effettuare una previsione in merito all'andamento dei contagi e alla definizione di una possibile data di uscita dal COVID-19. A tale scopo sono stati adottati diversi modelli:

1. **Se l'Italia fosse la Cina (Mod1:Italia - Cina)**

Nel primo modello (il nostro benchmark) abbiamo ipotizzato che il virus in Italia avesse un andamento identico a quello della Cina (100% compliance). Pertanto, dopo aver verificato che la serie relativa ai numeri di **positivi in Cina (PosCina)** risultava stazionaria e che allineando i periodi di inizio del virus tra i due paesi la stessa risultava altamente correlata con la serie della **variazione giornaliera del totale casi in Italia (ContIta)**, pur non potendo effettuare il test di stazionarietà a causa del ridotto numero di osservazioni sulla serie italiana, si è provveduto a stimare la seguente regressione:

$$ContIta_t = \beta_0 + \beta_1 PosCina_{t-32} \quad (8)$$

In sostanza abbiamo considerato per la stima il periodo 19 gennaio - 13 febbraio per la serie cinese e 21 febbraio - 17 marzo per la serie italiana.

L'utilizzo di *ContIta* (in luogo di *PosIta*) nella stima è per tenere conto della quota di contagio determinata dalle persone guarite e decedute non comprese in *PosIta*.

A questo punto è stato sufficiente sostituire nel modello stimato i dati relativi al COVID-19 in Cina per il periodo successivo (dal 13 febbraio al 17 marzo) per avere una stima dell'andamento in Italia.

$$ContIta_{t+h} = -5.293 + 0.633 PosCina_{t-32+h}$$

2. Il secondo modello (**Mod2:beta Cina**) stima il numero di contagiati utilizzando la seguente relazione:

$$PosIta_{t+1} = \tilde{R}_0 \frac{\sum_{i=t}^{t-6} ContIta_i}{7}$$

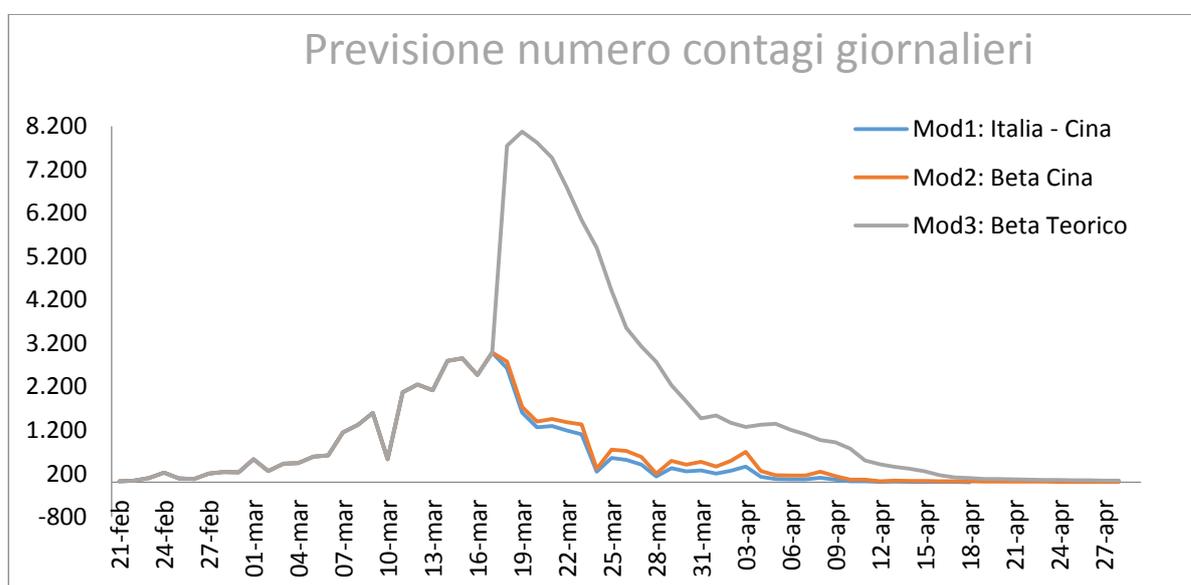
Essendo \tilde{R}_0 nota, in quanto i parametri utilizzati per la sua stima sono esogenamente determinati (α e θ dalle policy mentre β scaturisce dall'andamento dei contagiati in Cina).

Avendo stimato per il periodo 21 febbraio 2020 e il 17 marzo 2020 un scostamento medio tra $ContIta$ e $PosIta$ di circa il 14%, dopo aver stimato:

$$ContIta_{t+1} = 1,14 \cdot PosIta_{t+1}$$

è possibile iterare la procedura per pervenire ad una previsione corretta di $PosIta$ al tempo $t+h$. Per il periodo successivo al 17 marzo α e θ sono mantenuti costanti in quanto si ritiene non ci saranno ulteriori misure restrittive, qualora dovesse modificare la struttura delle restrizioni il modello andrebbe riadattato.

3. L'ultima modello (**Mod3:beta teorico**) utilizza la stessa formula del modello 2 sostituendo β con il suo valore teorico. Tale modifica viene effettuata per definire un limite superiore in assenza di *compliance*.



Dalle elaborazioni effettuate ne risulta che il picco dovrebbe essere previsto tra il 17 marzo e al più il 19 marzo.

La previsione effettuata utilizzando il beta teorico, sebbene poco indicativa dei dati reali, serve comunque ad indicare la possibile persistenza del momento di picco. Sebbene in termini assoluti, utilizzando un beta teorico non si tiene conto del fatto che il livello di contagio si è modificato già nel tempo, esso rappresenta comunque un riferimento della frontiera massima raggiungibile in assenza di *compliance*.

Le altre due stime si ritengono più attendibili, in particolare il modello 1 (*compliance* totale) sembra indicare un'uscita dal COVID-19 per l'Italia intorno al 18 aprile, il modello 3 rileva un rallentamento dell'uscita dal COVID-19 prevedendo un rallentamento della regressione del virus e stima un'uscita per l'Italia dal COVID-19 intorno al 29 aprile.

Nell'allegato 2 si ripropone la serie storica delle previsioni fatte per il periodo 18 marzo - 29 aprile con i tre modelli.

4. Conclusioni

Nel tentativo di dare un contributo alla letteratura scientifica relativa all'epidemia COVID-19 che sta nascendo in questi giorni, abbiamo provato ad utilizzare degli strumenti statistici per descrivere in modo semplice come affrontare un problema di così grande portata.

Unendo gli strumenti statistici con nozioni più strettamente epidemiologiche abbiamo ridotto all'osservazione di pochi parametri l'analisi di impatto e previsione di una *policy* di contenimento del virus.

Considerando due possibili ipotesi di intervento: aumento dei tamponi e quarantena, effettuando alcune simulazioni siamo pervenuti alla conclusione che *policy* basate sulla quarantena risultano più efficaci in termini di contenimento del contagio. Tuttavia le stesse devono essere accompagnate da un alto livello di *compliance* dei soggetti sottoposti restrizioni, infatti in assenza di quest'ultima il trend si riporta su numeri molto più alti.

Facendo anche leva sulla recente esperienza cinese, è stata effettuata una previsione sull'andamento dei contagi in Italia alla luce delle differenti misure applicate all'epidemia italiana, ancora in corso.

Nell'analisi sono stati considerati tre possibili scenari: il primo che considera una *compliance* totale, un secondo intermedio che ipotizza una *compliance* all'80% e l'ultimo che individua la frontiera massima che si potrebbe raggiungere in termini di contagi qualora ci fosse una *compliance* zero.

Nell'ipotesi che si ritiene più verosimile al caso italiano si dovrebbe superare il picco dei contagi dopo il 20 marzo, per poi arrivare ad un numero di contagi prossimi a zero intorno al 29 aprile. Gli altri scenari definiscono un intervallo di tolleranza di questi risultati.

Infine, ad oggi, si ritiene che le politiche adottate dall'Italia hanno condotto ad un contenimento del contagio del 91% rispetto alla curva teorica dell'espansione del virus stimata precedentemente all'introduzione delle *policy* di contenimento.

Allegato 1 - Valori di α secondo la policy

Data	Totale casi positivi	Provvedimento	Zone interessate	Restrizioni	% Pop. interessata	α	α pesato
23-feb	221	Creazione della zona rossa	11 Comuni: a) Bertonico; b) Casalpusterlengo; c) Castelgerundo; d) Castiglione D'Adda; e) Codogno; f) Fombio; g) Maleo; h) San Fiorano; i) Somaglia; l) Terranova dei Passerini m) Vò	Proibizione di accesso/uscita Sospensione di tutte le attività non necessarie	0,08	0,80	0,001
25-feb	229	Misure urgenti in materia di contenimento e gestione dell'emergenza	Emilia Romagna, Friuli VG, Lombradia, Veneto, Liguria, Piemonte	Sospensione eventi pubblici e privati	43,89	0,20	0,09
01-mar	1.337	Misure per proteggere le aree a rischio	11 comuni della restrizione 23/2 Regioni: a) Emilia-Romagna; b) Lombardia; c) Veneto. Province: a) Pesaro e Urbino; b) Savona; d) Bergamo; e) Lodi; f) Piacenza; g) Cremona.	Proibizione accesso/uscita dal comune; sospensione di tutte le attività non necessarie Sospensione di istruzione, eventi, limitazione a esercizi commerciali, luoghi culto	0,08 36,40	0,80 0,60	0,22
08-mar	6.387	Due livelli di zone di protezione	Lombardia, Modena, Parma, Piacenza, Reggio Emilia, Rimini, Pesaro and Urbino, Alessandria, Asti, Novara, Verbanco-Cusio-Ossola, Vercelli, Padua, Treviso and Venezia Italia	Livello 1) Proibizione di accesso/uscita dalla zona; sospensione di tutte le attività non necessarie Livello 2) chiusura di tutte le attività che portano ad aggregazione di persone, e altre misure di comportamento personale	4,72 95,00	0,75 0,60	0,61
09-mar	7.985	Creazione di una sola zona di protezione	Italia	Proibizione di accesso/uscita dalla zona; sospensione di tutte le attività non necessarie	100,00	0,75	0,75
11-mar	12.462	Consolidamento della singola zona di protezione	Italia 15	Chiusura di esercizi commerciali con eccezioni per servizi essenziali	100,00	0,80	0,80

Allegato 2**Previsione giornalieri dei nuovi positivi con i tre modelli adottati**

Data	Mod1	Mod2	Mod3
18-mar	2626	2778	7751
19-mar	1602	1738	8069
20-mar	1266	1400	7820
21-mar	1294	1460	7466
22-mar	1192	1384	6783
23-mar	1103	1331	6034
24-mar	244	310	5395
25-mar	559	752	4414
26-mar	518	720	3554
27-mar	404	580	3122
28-mar	133	197	2774
29-mar	321	492	2238
30-mar	254	409	1860
31-mar	273	468	1468
01-apr	203	360	1536
02-apr	266	491	1369
03-apr	358	698	1272
04-apr	125	260	1322
05-apr	75	160	1349
06-apr	70	155	1208
07-apr	69	157	1100
08-apr	102	241	968
09-apr	59	144	918
10-apr	24	61	770
11-apr	23	62	500
12-apr	7	20	416
13-apr	13	37	357
14-apr	10	29	307
15-apr	9	27	252
16-apr	7	22	162
17-apr	9	25	110
18-apr	4	21	95
19-apr		18	77
20-apr		17	76
21-apr		15	68
22-apr		14	62
23-apr		13	56
24-apr		12	52
25-apr		11	47
26-apr		10	43
27-apr		9	39
28-apr		8	36
29-apr		7	33

Riferimenti

Chenlin G., Wei J., Tianyuan Z. and Ban Z. (2020), Mathematical recommendations to fight against COVID-19

Shao N., Cheng J. and Chen W. (2020), The reproductive number R_0 of COVID-19 based on estimate of a statistical time delay dynamic system, medRxiv, Cold Spring Harbor Laboratory Press.

WHO (2020). Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 16-24 February 2020

Protezione Civile (2020). Chronology of main steps and legal acts taken by the Italian Government for the containment of the COVID-19 epidemiological emergency. Updated at 12 of March 2020