

## Report 20: Uso della mobilità per stimare l'intensità di trasmissione di COVID-19 in Italia: analisi a livello regionale e scenari futuri

Michaela A. C. Vollmer\*, Swapnil Mishra\*, H Juliette T Unwin\*, Axel Gandy\*, Thomas A Melan, Valerie Bradley, Harrison Zhu, Helen Coupland, Iwona Hawryluk, Michael Hutchinson, Oliver Ratmann, Melodie Monod, Patrick Walker, Charlie Whittaker, Lorenzo Cattarino, Constance Ciavarella, Lucia Cilloni, Kylie Ainslie, Marc Baguelin, Sangeeta Bhatia, Adhiratha Boonyasiri, Nicholas Brazeau, Giovanni Charles, Laura V Cooper, Zulma Cucunuba, Gina Cuomo-Dannenburg, Amy Dighe, Bimandra Djaafara, Jeff Eaton, Sabine L van Elsland, Richard FitzJohn, Keith Fraser, Katy Gaythorpe, Will Green, Sarah Hayes, Natsuko Imai, Ben Jeffrey, Edward Knock, Daniel Laydon, John Lees, Tara Mangal, Andria Mousa, Gemma Nedjati-Gilani, Pierre Nouvellet, Daniela Olivera, Kris V Parag, Michael Pickles, Hayley A Thompson, Robert Verity, Caroline Walters, Haowei Wang, Yuanrong Wang, Oliver J Watson, Lilith Whittles, Xiaoyue Xi, Azra Ghani, Steven M Riley, Lucy Okell, Christl A. Donnelly, Neil M Ferguson<sup>1</sup>, Ilaria Dorigatti<sup>3</sup>, Seth Flaxman\* and Samir Bhatt<sup>2\*</sup>

Department of Infectious Disease Epidemiology, Imperial College London

Department of Mathematics, Imperial College London

WHO Collaborating Centre for Infectious Disease Modelling

MRC Centre for Global Infectious Disease Analytics

Abdul Latif Jameel Institute for Disease and Emergency Analytics, Imperial College London

Department of Statistics, University of Oxford

\*Contributed equally. Correspondence: <sup>1</sup>: [neil.ferguson@imperial.ac.uk](mailto:neil.ferguson@imperial.ac.uk) <sup>2</sup>: [s.bhatt@imperial.ac.uk](mailto:s.bhatt@imperial.ac.uk) <sup>3</sup>: [i.dorigatti@imperial.ac.uk](mailto:i.dorigatti@imperial.ac.uk)

### Riassunto

L'Italia è stato il primo paese in Europa ad affrontare l'epidemia di COVID-19. Al 1° Maggio 2020, le autorità sanitarie italiane hanno riportato 28,238 decessi a livello nazionale. Per controllare l'epidemia, il governo italiano ha imposto una serie di interventi non-farmaceutici, tra cui la chiusura di scuole ed università, il distanziamento sociale e la quarantena, compreso il divieto di assembramenti pubblici e di effettuare spostamenti non essenziali. In questo rapporto, modellizziamo gli effetti degli interventi non-farmaceutici sulla trasmissione, utilizzando dati sulla mobilità media. Stimiamo che il numero medio di riproduzione (una misura dell'intensità di trasmissione) sia attualmente inferiore a uno per tutte le regioni italiane, e in modo significativo per la maggior parte di esse. Nonostante l'alto numero di decessi, la percentuale della popolazione che è stata infettata da SARS-CoV-2 (il tasso d'attacco) è lontana dalla soglia dell'immunità di gregge in tutte le regioni italiane, con il più alto tasso d'attacco osservato in Lombardia (13.18% [10.66%-16.70%]). L'Italia andrà a rilassare le attuali misure di contenimento a partire dal 4 Maggio 2020. Visto il controllo ottenuto ad oggi tramite l'implementazione dagli interventi non-farmaceutici, prendiamo in considerazione tre scenari per le prossime 8 settimane: uno scenario in cui la mobilità rimane la stessa della quarantena, uno scenario in cui la mobilità ritorna al 20% dei livelli pre-quarantena, e uno scenario in cui la mobilità ritorna al 40% dei livelli pre-quarantena. Gli scenari esplorati presuppongono che la mobilità venga riscaldata in modo uniforme, che il comportamento rimanga uguale a quello precedente agli interventi non-farmaceutici, che non vengano introdotti interventi farmaceutici, e non include la riduzione di trasmissione tramite il tracciamento dei contatti, i test e l'isolamento di casi confermati o sospetti. Nuovi interventi, come l'aumento del numero di

tamponi e il tracciamento dei contatti, contribuiranno verosimilmente alla riduzione della trasmissione; per questo motivo le nostre stime devono essere viste come proiezioni pessimistiche. Troviamo che, in assenza di ulteriori interventi, anche un ritorno del 20% ai livelli di mobilità pre-quarantena potrebbe causare un aumento dei decessi molto maggiore di quanto si sia verificato nell'attuale ondata, in diverse regioni. Futuri aumenti nel numero dei decessi verranno osservati dopo l'aumento dell'intensità di trasmissione e quindi una seconda ondata non sarà immediatamente evidente con il monitoraggio giornaliero dei decessi. I nostri risultati suggeriscono che sia la trasmissione di SARS-CoV-2, che la mobilità devono essere monitorate attentamente nelle settimane e nei mesi a venire. Per compensare l'aumento di mobilità che si verificherà con il rilassamento degli interventi non-farmaceutici attualmente in vigore, l'adesione alle misure di distanziamento sociale raccomandate insieme ad una sorveglianza intensificata della trasmissione nella comunità con tamponi, il tracciamento dei contatti e l'isolamento tempestivo degli infetti sono di fondamentale importanza per ridurre il rischio di ripresa della trasmissione.

#### SUGGESTED CITATION

Michaela A. C. Vollmer, Swapnil Mishra, H Juliette T Unwin, Axel Gandy *et al.* Using mobility to estimate the transmission intensity of COVID-19 in Italy: a subnational analysis with future scenarios. Imperial College London (2020) doi: <https://doi.org/10.25561/78677>.



Questo report è soggetto a licenza Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

## 1. Introduzione

In seguito all'emergenza di un nuovo tipo di coronavirus (SARS-CoV-2) e alla sua diffusione al di fuori dalla Cina, l'Italia è stato il primo paese europeo ad essere colpito dal COVID-19. Al 1° maggio 2020, sono stati riportati 28,238 decessi a livello nazionale, dei quali 13,860 solo in Lombardia, la regione più popolosa e più gravemente colpita d'Italia. In Lombardia, l'infezione è stata stimata essere introdotta a inizio gennaio e la trasmissione è passata inosservata finché il primo caso confermato di COVID-19 è stato riportato il 20 febbraio 2020 [3]. Il 21 febbraio sono iniziate le analisi virologiche per rintracciare nuove infezioni da SARS-CoV-2, e la prima morte da COVID-19 è stata confermata il 23 febbraio a Vo', in Veneto [11].

In risposta ad un rapido aumento nella domanda ospedaliera e nei decessi, sono stati implementati interventi non-farmaceutici straordinari prima in Lombardia, Veneto ed alcune regioni limitrofe [3] che sono stati poi estesi in tutta Italia. L'obiettivo di tali interventi era di controllare l'epidemia, ridurre la domanda di assistenza ospedaliera, e minimizzare la pressione sul sistema sanitario nazionale. Gli interventi implementati in Italia includono l'isolamento dei casi, la chiusura di scuole ed università, il divieto di assembramenti di massa ed eventi pubblici, l'interdizione del movimento e il distanziamento sociale su larga scala.

Modelli matematici e statistici sono degli strumenti utili per comprendere meglio la dinamica della trasmissione di malattie infettive. Possono stimare la dinamica di un'epidemia mentre evolve nel tempo, valutare l'impatto di interventi e stimare scenari futuri. Spesso i modelli si basano su dati epidemiologici imprecisi, ma possono essere progettati in modo da tener conto delle incertezze nei dati e rappresentano strumenti concettuali che possono essere utilizzati per valutare tendenze, dedurre dinamiche e dare risposte a questioni reali usando un approccio basato sull'evidenza. L'analisi e la modellizzazione di dati epidemiologici in tempo reale può dunque fornire evidenza scientifica basata sui dati che può informare la risposta, la pianificazione e il processo decisionale contro l'attuale pandemia di COVID-19. La recente diffusione di dati sulla mobilità da parte di Google [1] è una risorsa utile per misurare l'impatto degli interventi implementati contro COVID-19. Questi dati forniscono informazioni dettagliate sui cambiamenti relativi agli spostamenti a livello di popolazione, e possono essere utilizzati per misurare la trasmissibilità di SARS-CoV-2 agendo come indicatori del cambiamento comportamentale. I dati Google che abbiamo usato sono stati raccolti per luogo geografico e per le categorie di commercio al dettaglio ed attività ricreative, alimentari e farmacie, parchi, stazioni di transito, luoghi di lavoro e residenziale.

In questo rapporto analizziamo l'incidenza delle morti dovute a COVID-19 nelle 20 regioni italiane e, insieme ai cambiamenti relativi del movimento osservati a livello regionale, valutiamo come questi interventi possano aver influito sulla trasmissibilità di SARS-CoV-2. Forniamo stime del numero di decessi evitati con l'attuazione delle attuali misure di controllo, la percentuale di popolazione infetta prevista (al 1° maggio 2020), ed esploriamo il potenziale impatto che il rilassamento delle attuali misure potrebbe avere sulla trasmissione della malattia nel futuro. Comprendere quale impatto avrà il rilassamento degli interventi non-farmaceutici attualmente implementati ("strategie di uscita") sulla trasmissione è fondamentale nel guidare le decisioni politiche per gestire la trasmissione di COVID-19 nella cosiddetta "Fase 2".



**Figura 1:** Le sette regioni italiane con la più alta mortalità dovuta a COVID-19 (in termini di numero assoluto di decessi): Lombardia (arancione), Emilia-Romagna (grigio), Piemonte (verde), Veneto (blu), Liguria (azzurro), Marche (rosa) e Toscana (giallo).

## 2. Risultati

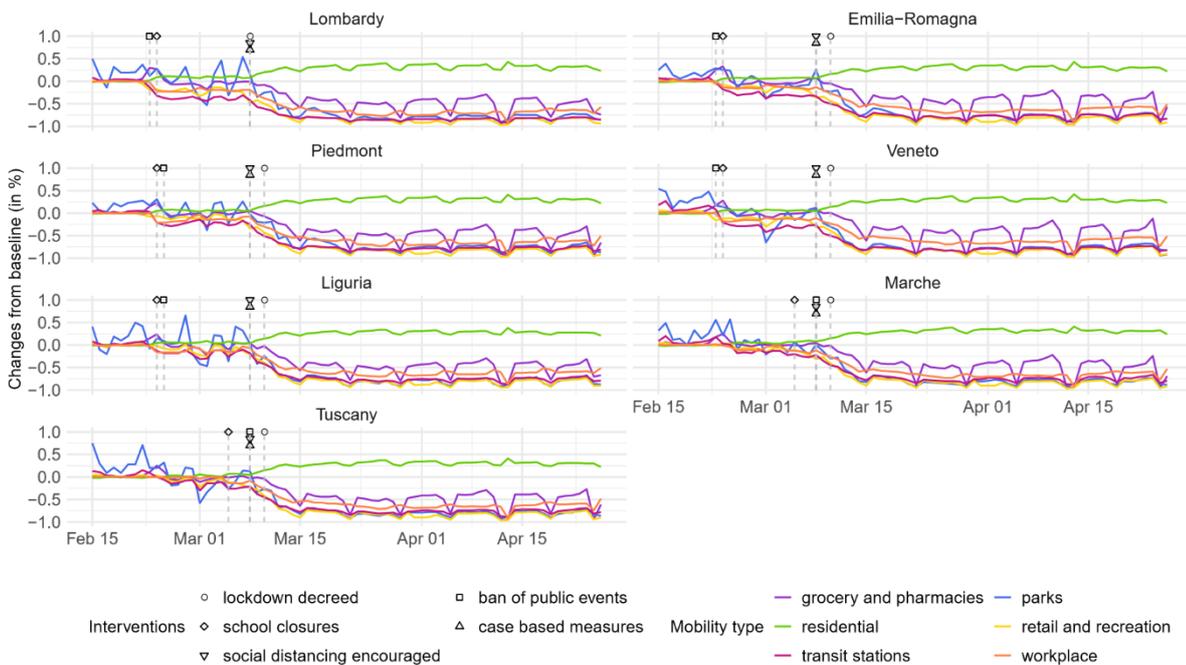
### **2.1 Utilizzo della mobilità per stimare la trasmissione**

La Figura 2 mostra l'andamento della mobilità dai dati Google a livello regionale, per le 7 regioni con più di 500 decessi dovuti a COVID-19 (vedi Tabella 1), ovvero la Lombardia, l'Emilia-Romagna, il Piemonte, il Veneto, la Liguria, le Marche and la Toscana. Le varie categorie di mobilità sono descritte in dettaglio nella sezione 4. In breve, i dati di mobilità mostrano i cambiamenti relativi nella mobilità rispetto all'andamento osservato poco prima dell'epidemia di COVID-19 in ciascuna regione. Ad esempio, un valore di  $-0.2$  nei settori del commercio al dettaglio e delle attività ricreative significa che le persone, in media, hanno passato 20% di tempo in meno in negozi e luoghi di intrattenimento rispetto al periodo antecedente all'epidemia. Nella Figura 2 mostriamo anche la data di inizio dei principali interventi non-farmaceutici (vedi in Appendice, Tabella 6.3). A causa della forte collinearità tra i vari tipi di mobilità abbiamo utilizzato solo la mobilità nelle categorie residenziale, stazioni di transito, e la media delle quattro categorie rimanenti (ovvero commercio al dettaglio ed attività ricreative, alimentari e farmacie, parchi, e luoghi di lavoro). La mobilità residenziale approssima la trasmissione all'interno dei nuclei famigliari e la mobilità di transito rappresenta gli spostamenti intra-regionali e tra regioni e include il tempo passato in luoghi come stazioni e aeroporti. La mobilità media è la media degli altri tipi di mobilità e approssima le altre attività che si svolgono di giorno in giorno. C'è una chiara corrispondenza tra le date in cui gli interventi sono stati implementati e la diminuzione osservata della mobilità. Questa corrispondenza è dimostrata statisticamente dall'alta correlazione

pari a 0.81 ottenuta con un semplice modello di regressione lineare tra gli interventi (assunti costanti a tratti) e la mobilità media. Questo suggerisce che la mobilità può rappresentare adeguatamente i cambiamenti nel comportamento indotti dall'implementazione dei maggiori interventi non-farmaceutici. Notiamo, comunque, che la mobilità non cattura tutta l'eterogeneità della trasmissione, in particolare non include fattori come gli interventi di tipo individuale e l'effetto della chiusura di scuole e università.

La Figura 3 mostra l'effetto medio globale dei tre tipi di mobilità utilizzati nel nostro modello. A causa della collinearità, non è possibile identificare statisticamente quale tra le tre mobilità abbia avuto l'impatto maggiore su  $R_t$ . Però troviamo che la mobilità media e di transito sono statisticamente significative, mentre la mobilità residenziale non lo è (anche se la media a posteriori è meno di 0). Un'ipotesi è che la variabile residenziale potrebbe aumentare  $R_t$  a causa della trasmissione all'interno dei nuclei famigliari o delle unità abitative.

La Figura 9 nell'Appendice mostra la distribuzione degli effetti regionali, che possono modificare l'effetto globale stimato a livello di nazione. Mentre la Figura 9 mostra che ci sono differenze tra le regioni, i parametri globali spiegano la gran parte della variazione nella diminuzione di  $R_t$ .



**Figura 2: Interventi e dati di mobilità per le sette regioni più colpite in Italia.**

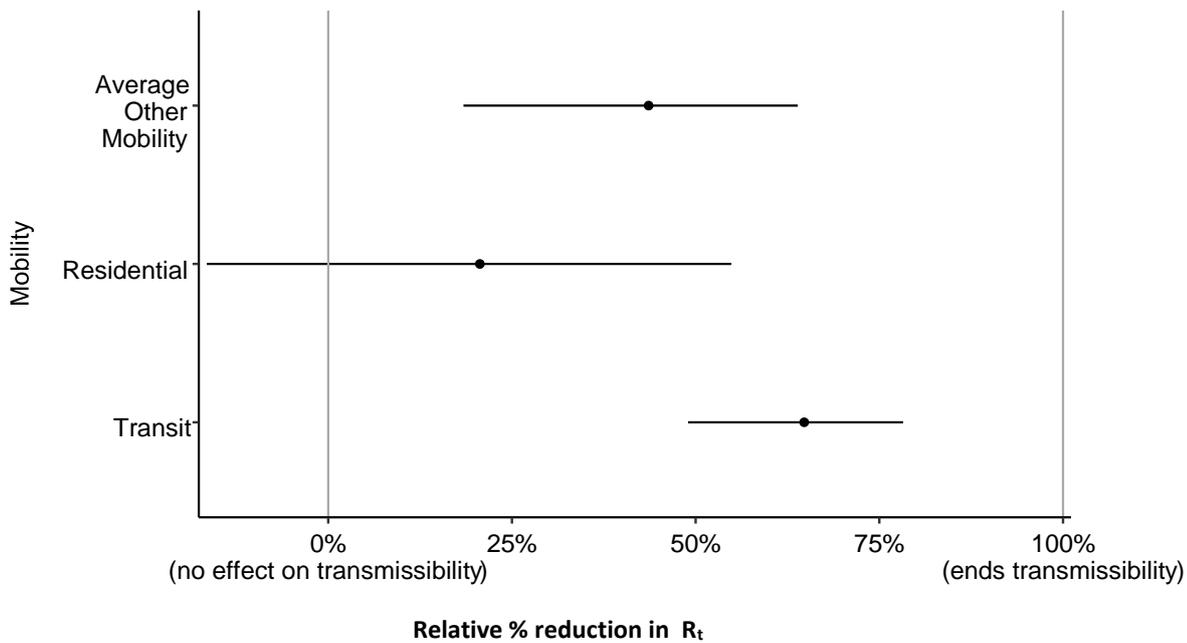


Figura 3: Effetto della mobilità: riduzione relativa di  $R_t$  se la mobilità specificata fosse totalmente fermata.

## 2.2 Tasso d'attacco (percentuale della popolazione infetta da COVID-19)

Nonostante l'Italia sia ad oggi il paese europeo con il più alto numero di decessi dovuti a COVID-19, il tasso d'attacco stimato (la percentuale della popolazione infetta) è ancora relativamente basso in tutte le regioni (Tabella 1).

Stimiamo che il tasso d'attacco sia più alto in Lombardia e in Valle d'Aosta (13.30% [10.72%-16.69%] e 11.07% [8.38%-14.73%], rispettivamente) e per molte regioni il tasso d'attacco medio è meno dell'1%. Anche nelle regioni con la più alta mortalità, il tasso d'attacco è lontano dal raggiungere l'immunità di gregge ( $\sim 70\%$  assumendo  $R_0 = 3$ ). Simulando le prossime 8 settimane e assumendo uno scenario in cui la mobilità sale, rispetto ai livelli attuali, al 20% della mobilità osservata nel periodo prima della quarantena, stimiamo un tasso d'attacco in Piemonte del 19.64% [13.22%-28.05%], in Lombardia del 13.79% [11.12%-17.31%] e in Veneto del 12.90% [7.65%-20.18%]. Assumendo che la mobilità salga al 40% della mobilità osservata prima della quarantena, stimiamo che il tasso d'attacco in Piemonte alla fine delle prossime 8 settimane diventi del 54.18% [41.71%-65.52%], seguito dalla Toscana con il 41.71% [21.06%-62.24%] (vedi Tabella 3).

**Tabella 1: Numero di decessi riportati, infection fatality rate (IFR, la probabilità di morte dovuta all'infezione) stimato, popolazione residente, numero di decessi pro capite, e stime del tasso d'attacco (percentuale della popolazione infetta) per tutte le regioni d'Italia.**

Regione	Decessi	IFR (in %)	Popolazione	Decessi per 1,000	Tasso d'attacco
Lombardia	13,860	1.1	10,060,574	1.4	13.30% [10.72%-16.69%]
Valle d'Aosta	138	1.2	125,666	1.1	11.07% [8.38%-14.73%]
Emilia-Romagna	3,579	1.2	4,459,477	0.8	7.86% [6.38%-9.87%]
Trento	423	1.1	541,098	0.78	8.38% [6.63%-10.88%]
Liguria	1,184	1.4	1,550,640	0.76	7.00% [5.61%-8.74%]
Piemonte	3,097	1.3	4,356,406	0.71	7.84% [6.27%-9.83%]
Marche	911	1.2	1,525,271	0.6	5.33% [4.24%-6.69%]
Bolzano	278	1	531,178	0.52	5.94% [4.67%-7.58%]
Veneto	1,479	1.1	4,905,854	0.3	3.75% [2.94%-4.79%]
Abruzzo	324	1.2	1,311,580	0.25	2.62% [2.06%-3.34%]
Friuli-Venezia Giulia	294	1.3	1,215,220	0.24	2.42% [1.88%-3.15%]
Toscana	854	1.2	3,729,641	0.23	2.54% [2.00%-3.25%]
Puglia	421	1.1	4,029,053	0.1	1.24% [0.97%-1.59%]
Lazio	482	1.1	5,879,082	0.082	1.08% [0.84%-1.39%]
Umbria	68	1.2	882,015	0.077	0.72% [0.51%-1.00%]
Sardegna	117	1.2	1,639,591	0.071	0.82% [0.60%-1.14%]
Molise	21	1.2	305,617	0.069	0.59% [0.30%-1.01%]
Campania	359	0.99	5,801,692	0.062	0.74% [0.59%-0.95%]
Sicilia	237	1.1	4,999,891	0.047	0.55% [0.43%-0.70%]
Calabria	87	1.1	1,947,131	0.045	0.50% [0.36%-0.69%]
Basilicata	25	1.2	562,869	0.044	0.44% [0.25%-0.71%]
Italia	28,238	1.2	60,359,546	0.47	4.76% [4.28%-5.37%]

### 2.3 Stime dell'intensità di trasmissione nel tempo

La Figura 6 mostra il numero riproduttivo di base ( $R_0$ ) e il numero riproduttivo effettivo ( $R_t$ ) al 1° maggio 2020. Il numero riproduttivo di base medio è 3.4[2.6 – 4.3] ed è in linea con le stime riportate precedentemente [8]. La media del numero riproduttivo effettivo stimato è sotto uno, e lo è in modo significativo per la maggioranza delle regioni. Questi risultati mostrano che le principali misure non-farmaceutiche implementate in maniera universale hanno controllato l'epidemia in tutta Italia.

Le Figure 7 e 8 mostrano il fit del modello per le 7 regioni con la più alta mortalità dovuta a COVID-19 in Italia. Visivamente, c'è un'ampia corrispondenza tra la sostanziale diminuzione in  $R_t$  e le date di implementazione degli interventi. Questo suggerisce che gli interventi abbiano avuto un effetto forte sulla mobilità, che nel nostro modello si ripercuote sull'intensità di trasmissione. Dai dati di mobilità si vede che ci sono chiare fluttuazioni, che si ripercuotono sulla trasmissione, in base al giorno della settimana ma queste fluttuazioni sono piccole rispetto alla generale riduzione della mobilità. Per tutte le 7 regioni con i più alti tassi di mortalità vediamo una grande riduzione nelle infezioni, dove il punto di inflessione coincide con la data di inizio degli interventi e la successiva riduzione della mobilità. Nonostante stimiamo che il numero giornaliero di nuove infezioni sia in rapido declino, a causa del ritardo tra l'infezione e il decesso, ulteriori decessi verranno registrati nelle prossime settimane.

### 2.4 Simulazione di scenari futuri

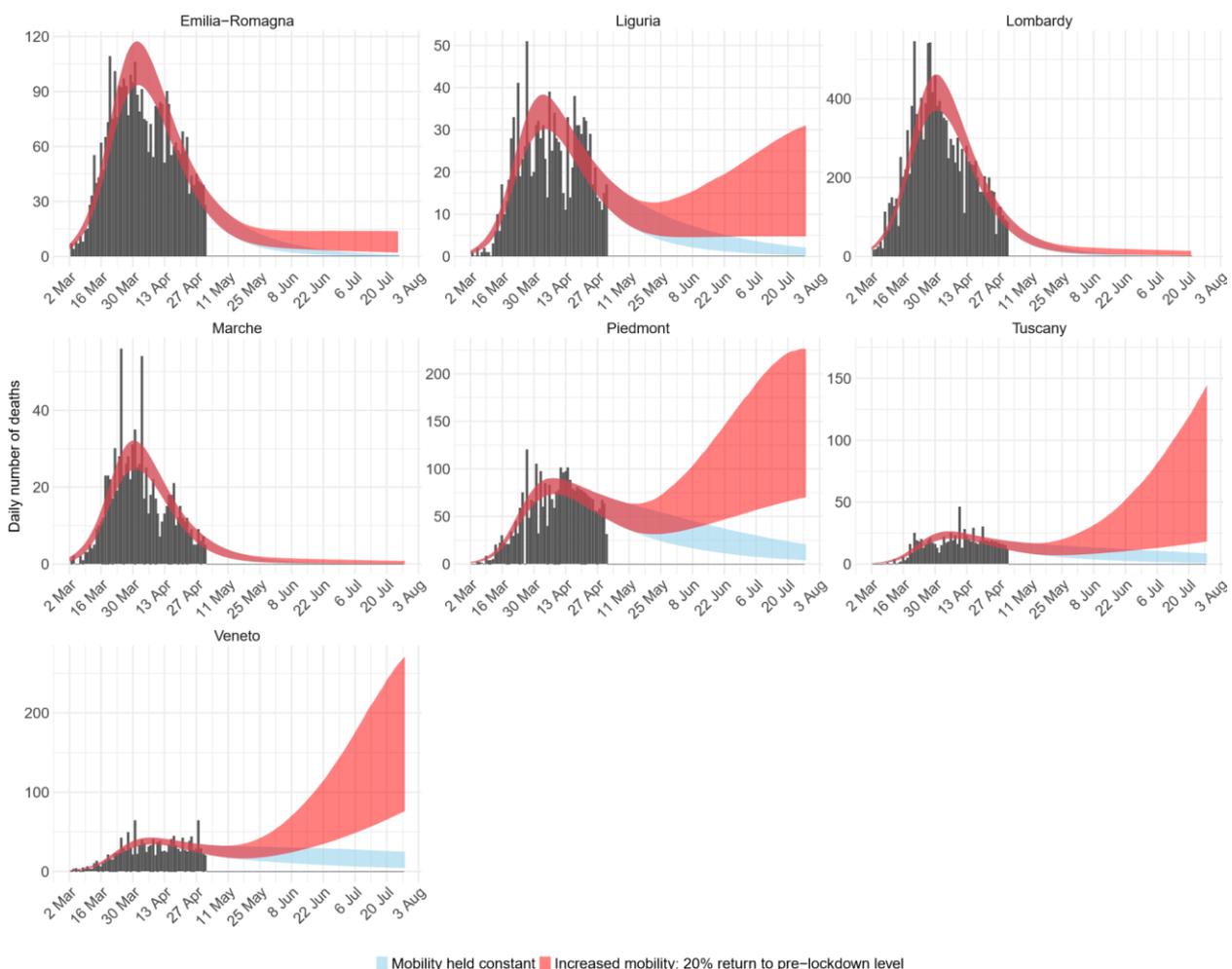
Il meccanismo principale che determina le dinamiche nel nostro modello è  $R_t$ , che è parametrizzato sulla mobilità. Utilizzando il nostro modello, calibrato su tutte le regioni italiane, simuliamo le future 8 settimane usando ipotetici scenari in cui la mobilità aumenta. Non differenziamo le cause di un aumento nella mobilità ma è ragionevole assumere che un aumento della mobilità sia una conseguenza del rilassamento degli interventi non-farmaceutici e di cambiamenti del comportamento. Facciamo notare che altri meccanismi, oltre alla mobilità, possono fare aumentare  $R_t$  e questi porterebbero allo stesso risultato.

Simuliamo tre scenari (a) **mobilità costante** dove la mobilità nelle prossime 8 settimane rimane ai livelli della quarantena, e assumendo che (b) il **20% della mobilità pre-quarantena** e (c) **40% della mobilità pre-quarantena** vengano ripristinati. Gli scenari (b) e (c) sono calcolati usando la media pesata tra la mobilità durante la quarantena e il valore nominale osservato pre-quarantena. Quindi, ad esempio, nello scenario (b), il 20% del peso è sul valore osservato prima della quarantena e l'80% sulla mobilità durante la quarantena. Lo scenario (a) è equivalente ad un rientro del 0% alla mobilità pre-quarantena.

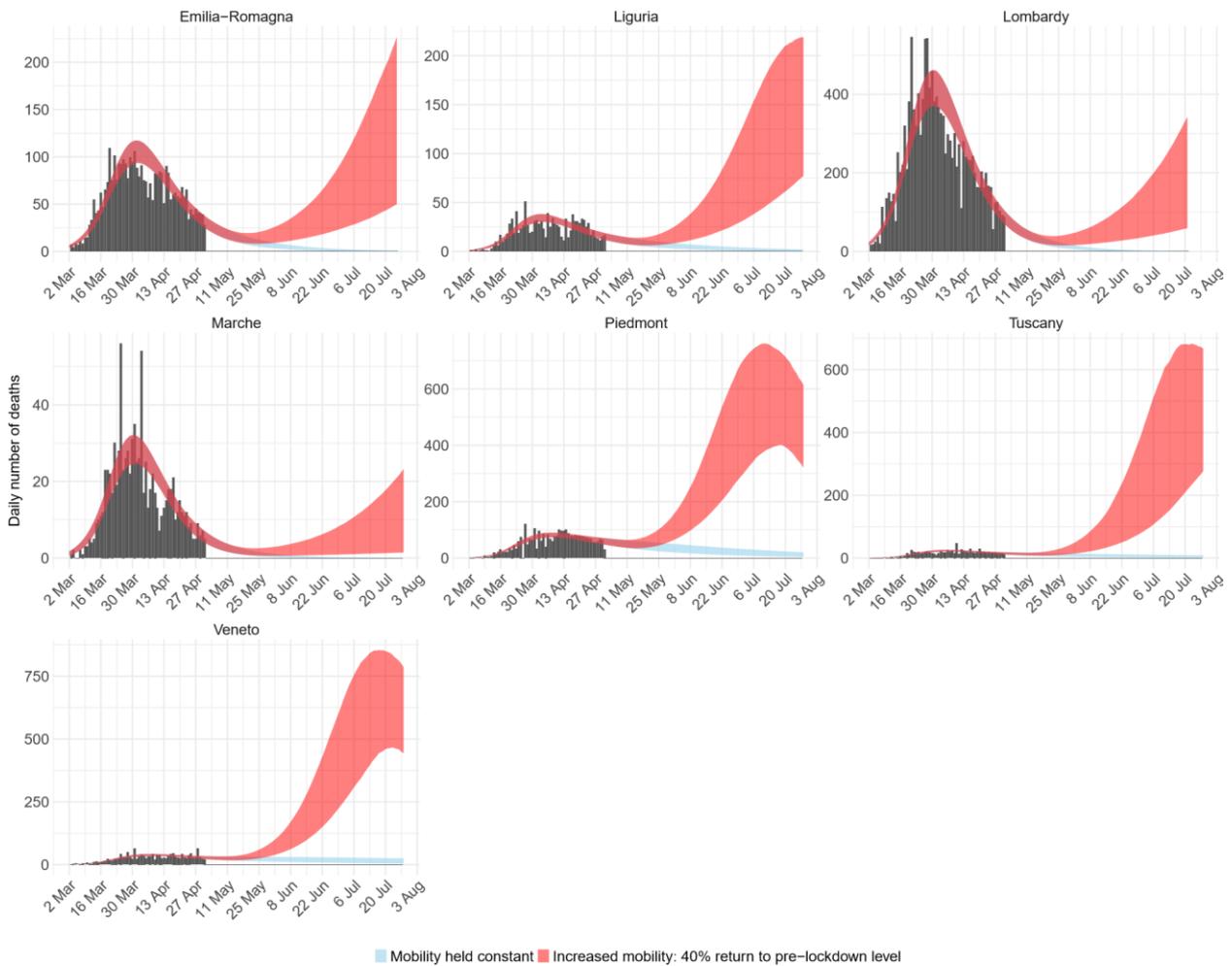
Le Figure 7 e 8 mostrano l'incremento stimato di  $R_t$  dovuto ad un ripristino della mobilità al 40% del valore osservato pre-quarantena. Un ripristino del 40% rappresenta un incremento della mobilità tale da portare  $R_t$  sopra ad 1 in molte regioni. Il risultato di un aumento in  $R_t$  si manifesta in un aumento nel numero di infezioni e morti giornaliere. Le Figure 4 e 5 mostrano gli scenari di ripristino del 20% e 40% della mobilità pre-quarantena. Nello scenario in cui assumiamo che la mobilità resta costante prevediamo una continua diminuzione nei decessi, mentre negli scenari di ripristino della mobilità al 20% e 40% l'iniziale diminuzione nel numero di decessi potrebbe essere seguito da una seconda ondata dell'epidemia che, senza tenere conto dell'impatto di interventi aggiuntivi, sarebbe di dimensioni più grandi rispetto alla prima ondata.

## 2.5 Morti evitate negli scenari futuri simulati

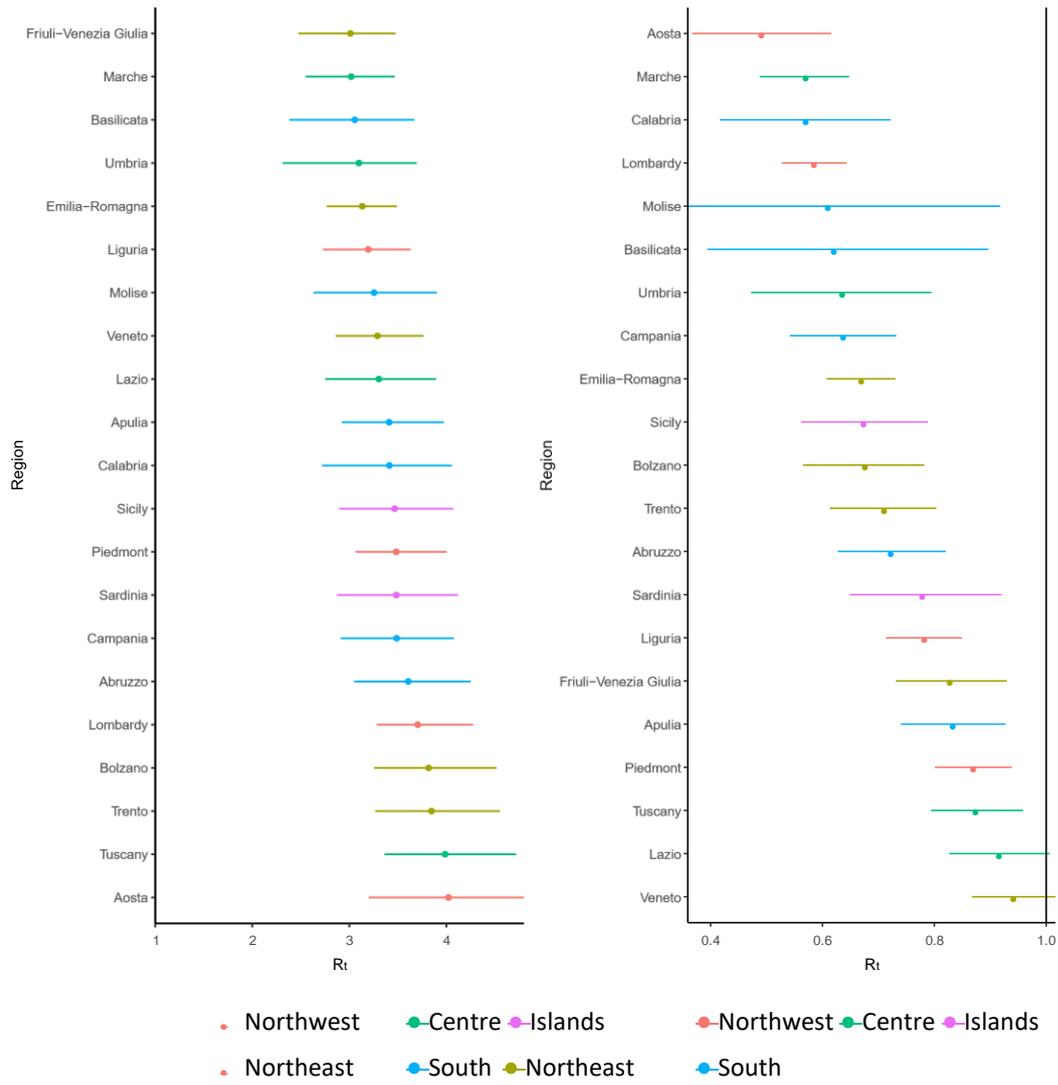
Usando gli scenari simulati possiamo calcolare il numero di decessi evitati dal mantenimento della mobilità ai livelli osservati durante la quarantena. La Tabella 2 mostra il numero di morti evitate assumendo un ripristino del 20% e 40% della mobilità pre-quarantena e l'assenza di qualsiasi altro intervento. Nello scenario al 20% stimiamo che il numero totale di decessi in eccesso vari tra 3,700 e 5,000, e nello scenario al 40% il numero totale di decessi in eccesso sarebbe tra 10,000 e 23,000 (vedi Tabella 2). Le morti evitate sono più numerose nelle regioni che hanno affrontato epidemie più grandi; il motivo dietro all'aumento della trasmissione è dovuto in gran parte al più alto numero attuale di infezioni. Passando più tempo in condizioni di mobilità simili alla quarantena prima che ci sia un aumento, il numero di morti evitate sarebbe verosimilmente molto inferiore in entrambi gli scenari. Si nota che il nostro modello non tiene conto dei movimenti tra regioni, che, dato l'incremento della mobilità, potrebbe portare ad un aumento delle infezioni e di conseguenza dei decessi, in regioni che non hanno affrontato grandi epidemie.



**Figura 4: Decessi per le 7 regioni con la più alta mortalità in Italia. Le barre nere sono i dati, in azzurro l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità resta ai livelli osservati durante la quarantena, e in rosso l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità torna ad essere pari al 20% dei livelli osservati pre-quarantena.**



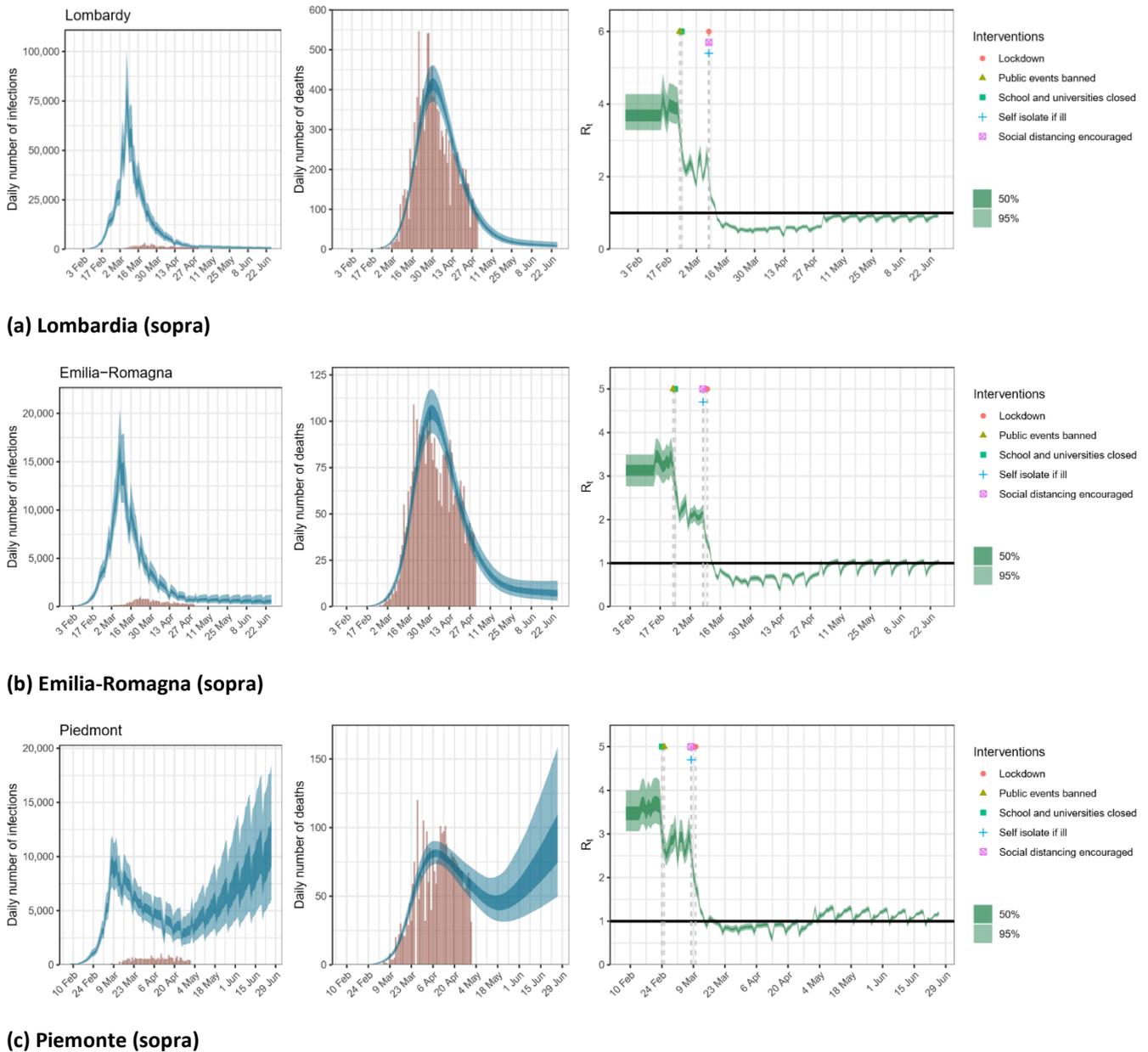
**Figura 5: Decessi per le 7 regioni con la più alta mortalità in Italia. Le barre nere sono i dati, in azzurro l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità resta ai livelli osservati durante la quarantena, e in rosso l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità torna ad essere pari al 40% dei livelli osservati pre-quarantena.**



(a)  $R_0$

(b)  $R_t$  as of 1st May 2020

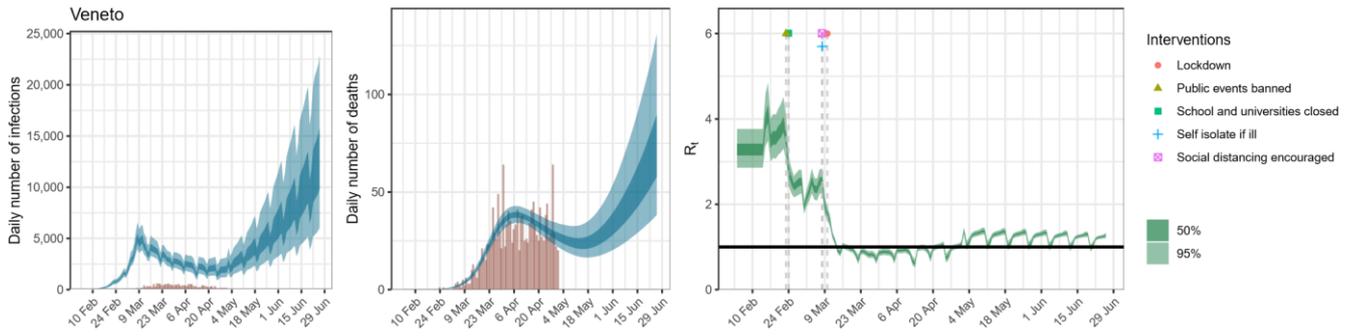
Figure 6: Stime regionali di  $R_t$ . La Figura (a) mostra il numero riproduttivo di base  $R_0$  e (b) mostra la stima di  $R_t$  al 1° maggio 2020. I colori indicano le 5 macro-regioni italiane.



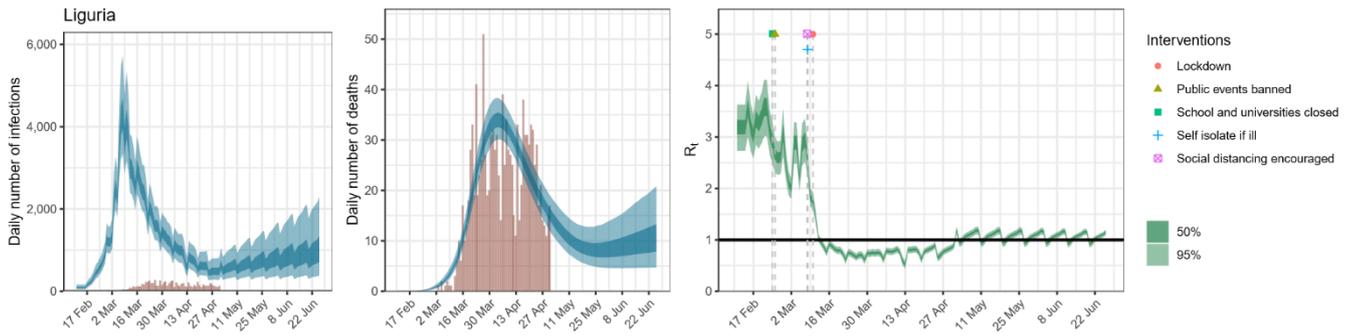
**Figura 7: Stima delle infezioni, morti e  $R_t$  per Lombardia, Emilia-Romagna e Piemonte nello scenario di un ripristino della mobilità al 20% del livello pre-quarantena.** Sinistra: numero giornaliero di infezioni, in rosso i casi riportati, in blu il numero stimato di infezioni, blu scuro intervallo di credibilità (CrI) al 50%, blu chiaro 95% CrI. Il numero giornaliero di infezioni stimato dal modello risponde immediatamente a cambiamenti nella mobilità. Se  $R_t$  è sopra 1, il numero di infezioni sale di nuovo. Centro: numero giornaliero di decessi, le barre rosse rappresentano i decessi riportati, in blu i morti stimati, CrI come nel grafico a sinistra. Destra: il numero riproduttivo  $R_t$  nel tempo, verde scuro 50% CrI, verde chiaro 95% CrI. I simboli rappresentano gli interventi e sono posizionati sul giorno in cui questi sono stati implementati.

4 May 2020

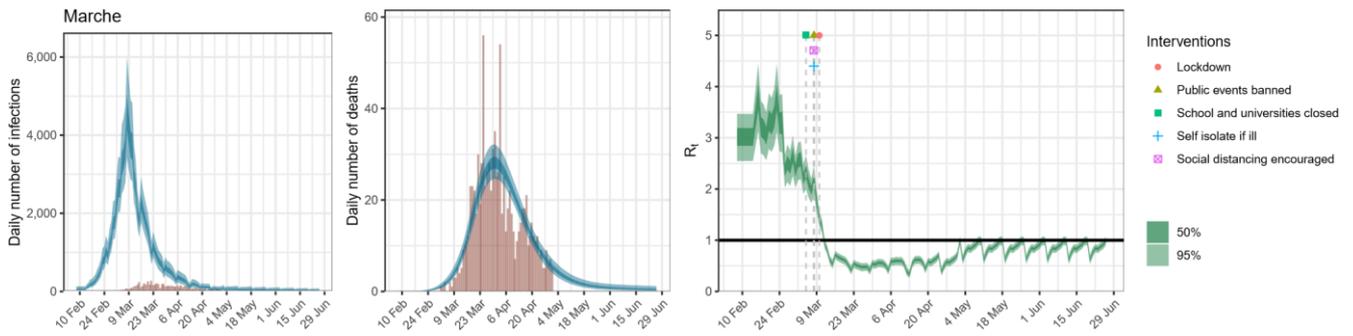
Imperial College COVID-19 Response Team



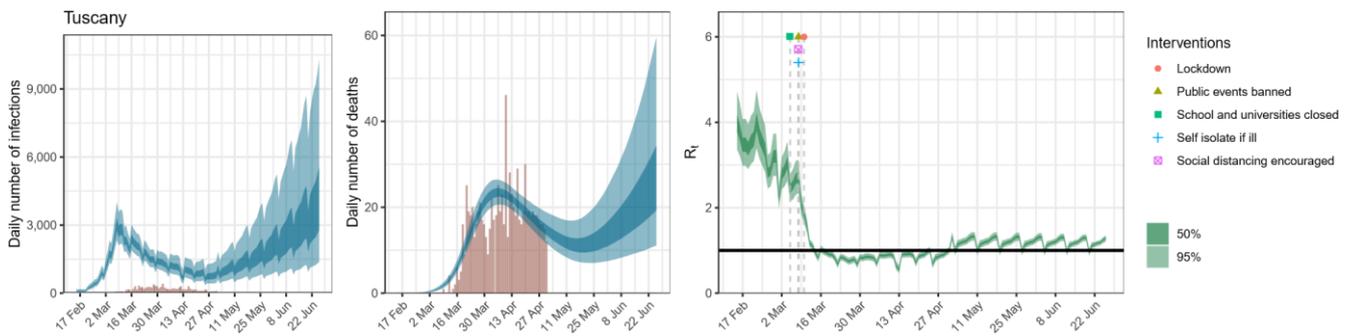
(a) Veneto (sopra)



(b) Liguria (sopra)



(c) Marche (sopra)



(d) Toscana (sopra)

Figura 8: Stima delle infezioni, decessi e  $R_t$  per Veneto, Liguria, Marche e Toscana nello scenario di ripristino della mobilità al 20% del livello pre-quarantena; stesse variabili mostrate in Figura 7.

**Tabella 2: Numero di morti evitate assumendo che la mobilità resti uguale ai livelli osservati durante la quarantena per 8 settimane dal 1° maggio 2020 (scenario a) rispetto ad un ripristino della mobilità al 20% dei livelli pre-quarantena (scenario b) o al 40% dei livelli pre-quarantena (scenario c), media e [intervallo di credibilità al 95].**

Regione	20% della mobilità pre-quarantena	40% della mobilità pre-quarantena
	morti evitate	morti evitate
Abruzzo	35 [10-88]	200 [60-490]
Basilicata	2 [0-13]	11 [0-75]
Calabria	2 [0-7]	10 [1-45]
Campania	14 [3-35]	82 [20-220]
Emilia-Romagna	130 [60-230]	650 [300-1,100]
Friuli-Venezia Giulia	56 [20-130]	260 [80-610]
Lazio	330 [100-640]	1700 [700-3,300]
Liguria	160 [80-290]	760 [400-1,400]
Lombardia	190 [90-350]	1,100 [500-2,000]
Marche	9 [3-22]	49 [20-110]
Molise	2 [0-14]	10 [0-72]
Bolzano	10 [2-28]	57 [10-160]
Trento	23 [6-56]	120 [30-290]
Piemonte	1,300 [700-2,100]	5,600 [3,000-8,700]
Puglia	140 [50-310]	790 [300-1,700]
Sardegna	30 [5-96]	170 [30-540]
Sicilia	14 [3-41]	85 [20-260]
Toscana	370 [200-720]	1,800 [800-3,600]
Umbria	3 [0-12]	15 [1-66]
Valle d'Aosta	1 [0-2]	3 [0-14]
Veneto	930 [500-1,600]	4,100 [2,000-6,600]
<b>Totale</b>	<b>3,700 [3,000-5,000]</b>	<b>18,000 [10,000-23,000]</b>

**Tabella 3: Tasso d'attacco dopo 8 settimane dal 1° maggio 2020 se la mobilità torna al 20% dei livelli pre-quarantena (scenario b) o al 40% dei livelli pre-quarantena (scenario c) media e [intervallo di credibilità al 95].**

	Regione	20% della mobilità pre-quarantena	40% della mobilità pre-quarantena
		tasso d'attacco	tasso d'attacco
1	Abruzzo	3.83% [2.49%-6.53%]	18.57% [5.91%-42.30%]
2	Basilicata	0.84% [0.27%-3.35%]	6.06% [0.34%-47.89%]
3	Calabria	0.53% [0.38%-0.79%]	1.27% [0.44%-5.07%]
4	Campania	0.85% [0.64%-1.17%]	2.61% [0.91%-7.49%]
5	Emilia-Romagna	8.71% [6.99%-11.00%]	13.14% [9.53%-18.33%]
6	Friuli-Venezia Giulia	4.64% [2.68%-8.82%]	19.26% [6.48%-40.57%]
7	Lazio	4.93% [2.15%-9.74%]	31.57% [12.52%-54.01%]
8	Liguria	10.72% [7.63%-15.27%]	31.08% [18.11%-46.28%]
9	Lombardia	13.79% [11.12%-17.31%]	16.66% [13.06%-21.37%]
10	Marche	5.50% [4.36%-6.88%]	6.62% [4.92%-9.13%]
11	Molise	1.21% [0.34%-6.52%]	7.69% [0.43%-57.23%]
12	Bolzano	6.84% [5.08%-9.69%]	17.13% [7.06%-39.45%]
13	Trento	10.23% [7.58%-14.63%]	26.80% [12.50%-49.54%]
14	Piemonte	19.64% [13.22%-28.05%]	54.18% [41.47%-65.52%]
15	Puglia	3.47% [1.62%-7.38%]	25.14% [8.51%-48.77%]
16	Sardegna	2.12% [0.80%-6.59%]	17.69% [2.39%-51.95%]
17	Sicilia	0.69% [0.48%-1.16%]	3.67% [0.78%-13.01%]
18	Toscana	8.26% [4.14%-15.52%]	41.71% [21.06%-62.24%]
19	Umbria	0.86% [0.54%-1.56%]	2.69% [0.65%-12.14%]
20	Valle d'Aosta	11.22% [8.49%-14.83%]	12.53% [8.97%-18.64%]
21	Veneto	12.90% [7.65%-20.18%]	43.90% [28.69%-58.70%]

### 3. Conclusioni

In questo report usiamo un modello gerarchico semi-meccanicistico di tipo Bayesiano calibrato sui dati regionali sui decessi riportati in Italia. Parametriamo il numero riproduttivo, una misura fondamentale dell'intensità di trasmissione, in funzione della mobilità degli individui. Mostriamo che la mobilità, sia visivamente che statisticamente, è associata con l'inizio e le tempistiche dei principali interventi non-farmaceutici. Utilizzando il nostro modello, stimiamo che il numero riproduttivo medio sia attualmente sotto 1 in tutte le regioni, a conferma che i principali interventi implementati dal governo italiano hanno controllato la trasmissione ed evitato una catastrofe. Mostriamo che nonostante l'alto numero di decessi dovuti a COVID-19, i tassi di attacco sono molto più bassi rispetto alla soglia dell'immunità di gregge. Simulando le future 8 settimane, stimiamo che, se la mobilità resta invariata, ci sarà una continua riduzione nei morti e l'epidemia verrà soppressa. Al contrario, un ripristino della mobilità al 20% o 40% dei livelli pre-quarantena può portare ad una ripresa dell'epidemia con più decessi dell'ondata attuale in assenza di ulteriori interventi.

La novità del nostro modello sta nel calibrare una funzione latente per le infezioni e parametrizzare  $R_t$  usando dati di mobilità. L'uso dei dati di mobilità dà un' indicazione sul tempo passato a svolgere attività giornaliere e non tiene conto di misure a livello individuale, come l'isolamento dei casi, e cattura solo parzialmente l'impatto di altri interventi come ad esempio la chiusura di scuole e università. Nella simulazione di scenari futuri non teniamo conto dell'impatto di misure di distanziamento sociale sui mezzi di trasporto pubblici e negli spazi pubblici, né dell'utilizzo obbligatorio di dispositivi di protezione individuale. Il rapporto costi-benefici tra l'implementazione di nuovi interventi e il rilassamento degli attuali interventi non è noto, e dipende dall'efficacia di questa nuova serie di interventi, dal comportamento, dall'adesione alle raccomandazioni e dal corretto uso dei dispositivi di protezione individuale. Siccome interventi come l'analisi virologica su larga scala, il tracciamento di contatti e il distanziamento sociale verranno implementati, le nostre stime possono essere considerate pessimistiche. D'altra parte, però, simulare un aumento del 20% e 40% della mobilità nelle prossime 8 settimane è probabilmente uno scenario prudente. Il nostro modello utilizza i conteggi ufficiali dei decessi per stimare cambiamenti nell'intensità di trasmissione. Non abbiamo utilizzato il numero riportato dei casi di COVID-19 confermati a causa dei potenziali cambiamenti nella definizione di caso e nella strategia di *testing* adottata durante l'epidemia in tutte le regioni, che risulterebbero difficili da correggere. Qualora vengano rese disponibili maggiori informazioni sugli interventi che verranno implementati, le includeremo nel nostro modello.

I nostri risultati suggeriscono che sia la trasmissione che la mobilità dovranno venire monitorate da vicino nelle settimane e nei mesi a venire. Ad oggi, è difficile prevedere fino a che punto i nuovi interventi saranno in grado di mantenere  $R_t$  attorno a 1 una volta che le attuali misure non-farmaceutiche saranno rilassate. Il successo dei nuovi interventi quali il distanziamento sociale sui mezzi di trasporto e l'uso di dispositivi di protezione individuale dipendono dal comportamento della popolazione, il rispetto delle raccomandazioni, l'efficacia e l'uso corretto dei dispositivi oltre che dal monitoraggio migliorato e tempestivo della trasmissione di SARS-CoV-2. Siccome l'aumento nel numero di pazienti ospedalizzati e nei decessi avviene dopo l'aumento dell'intensità di trasmissione, il controllo di una possibile futura ripresa della trasmissione dipende dall'identificazione precoce delle infezioni, dal loro isolamento e dalla tempestiva soppressione di cluster di infezioni locali. Il rafforzamento della sorveglianza epidemiologica tramite tamponi e il tracciamento dei contatti permetterà di identificare le infezioni precocemente e di monitorare i cambiamenti nell'intensità di

4 May 2020

*Imperial College COVID-19 Response Team*

trasmissione in modo tempestivo ed è fondamentale per compensare il rischio di ripresa della trasmissione che potrebbe avvenire in seguito all'aumento di mobilità che verrà verosimilmente osservato una volta che le attuali misure non-farmaceutiche verranno rilassate.

## 4. Dati

Il nostro modello utilizza dati dei decessi giornalieri per le 20 regioni italiane, condivisi dalla Protezione Civile Italiana (disponibili al pubblico su <https://github.com/pcm-dpc/COVID-19>). Per la regione Trentino-Alto Adige, riportiamo i risultati separatamente per le province di Trento e Bolzano, seguendo il formato fornito dalla Protezione Civile Italiana nei numeri di decessi. Per i dati di popolazione, usiamo conteggi stratificati per età, disponibili pubblicamente dall'ISTAT ("Popolazione residente comunale per sesso anno di nascita e stato civile", da <https://www.istat.it>).

I dati sulla mobilità sono stati ottenuti dal rapporto sulla mobilità di Google ([google.com/covid19/mobility/](https://google.com/covid19/mobility/)) che fornisce dati sui movimenti in Italia, per regione, ed evidenzia la variazione percentuale delle visite a:

- Alimentari e farmacie: trend di mobilità per luoghi come mercati alimentari, magazzini alimentari, mercati alimentari all'aperto, negozi di specialità alimentari, farmacie e para-farmacie.
- Parchi: trend di mobilità per parchi locali, nazionali, spiagge pubbliche, porti turistici, parchi per cani, piazze e giardini pubblici.
- Stazioni di transito: trend di mobilità per centri di trasporto pubblico, come stazioni della metropolitana, degli autobus e dei treni.
- Commercio al dettaglio e attività ricreative: trend di mobilità per luoghi come ristoranti, caffè, centri commerciali, parchi a tema, musei, biblioteche e cinema.
- Residenziale: trend di mobilità per i luoghi di residenza.
- Luoghi di lavoro: trend di mobilità per i luoghi di lavoro.

I dati sulla mobilità mostrano la durata del soggiorno in diversi luoghi rispetto all'andamento di base. È, dunque, relativa, i.e. una mobilità del -50% significa che, rispetto a prima del COVID-19, le persone trascorrono il 50% in meno in una determinata attività.

Cataloghiamo anche dati sulla natura e il tipo dei principali interventi non-farmaceutici. Usiamo come riferimento le pagine web della sanità pubblica e del governo per identificare le raccomandazioni e le leggi emesse dal governo centrale e dalle autorità sanitarie pubbliche locali. Abbiamo raccolto quanto segue:

- Ordinata la chiusura delle scuole: Questo intervento si riferisce alla chiusura straordinaria a livello nazionale di scuole, nella maggior parte dei casi primarie e secondarie (per la maggior parte delle regioni, ciò include anche la chiusura di altri istituti superiori o il suggerimento di passare all'insegnamento a distanza). La data della chiusura delle scuole è considerata la data effettiva di quando queste hanno iniziato ad essere chiuse (se ciò era di lunedì, la data effettiva utilizzata era quella del Sabato precedente, in quanto alunni e studenti erano effettivamente rimasti a casa da quella data in poi).
- Misure a livello individuale: Questo intervento comprende forti raccomandazioni o leggi per il pubblico e il personale medico e sanitario di base sull'auto-isolamento quando presentano

sintomi simili a quelli del COVID-19. Queste includono anche programmi di analisi virologiche sul territorio nazionale, dove le persone possono essere testate e successivamente auto-isolarsi. La nostra definizione è limitata al consiglio ufficiale a tutte le persone o tutti gli operatori sanitari di base. Queste non includono gli interventi della fase di contenimento, come l'isolamento di coloro che facevamo rientro da zone epidemiologiche, come la Cina.

- **Divieto di eventi pubblici:** Questo si riferisce al divieto di tutti gli eventi pubblici con più di 100 partecipanti, per esempio eventi sportivi.
- **Incoraggiamento al distanziamento sociale:** Come primo intervento per ridurre la diffusione della pandemia di COVID-19, il Governo e molte regioni hanno pubblicato consigli sul distanziamento sociale, come la raccomandazione di lavorare da casa se possibile e ridurre l'utilizzo dei trasporti pubblici e altre forme non essenziali di contatto. Le date utilizzate sono quelle ufficiali in cui il distanziamento sociale è stato raccomandato; il consiglio può includere anche di mantenere una distanza fisica da altre persone.
- **Decreto di quarantena:** I media usano diversi scenari per riferirsi alla quarantena. Come definizione generale, noi consideriamo i regolamenti / le legislazioni che riguardano le interazioni sociali faccia a faccia: compreso il divieto di assembramenti pubblici non essenziali, la chiusura di istituti educativi e pubblici / culturali, che ordinano di rimanere a casa salvo per motivi essenziali. Includiamo casi speciali in cui queste misure non sono menzionate esplicitamente dal sito web del governo ma sono imposte dalla polizia. Notiamo che la quarantena include altri interventi implementati in precedenza.

I dati sulla mobilità e le tempistiche degli interventi sono raffigurati nella Figura 2.

## 5. Metodi

In un rapporto precedente [4], abbiamo introdotto un nuovo modello Bayesiano per stimare l'intensità di trasmissione e il tasso d'attacco (la proporzione della popolazione che è stata infetta) di COVID-19 dal numero di decessi riportati. Questo modello usa il numero riproduttivo  $R_t$  che varia nel tempo per informare la funzione latente delle infezioni. Successivamente queste infezioni vengono calibrate sui decessi osservati, assieme ad un ritardo probabilistico. I decessi osservati, nonostante siano sensibili a sottostime e ritardi, sono più affidabili del numero riportato di casi confermati, anche se la concentrazione iniziale della maggior parte dei sistemi di sorveglianza epidemiologica su casi con viaggi recenti in Cina potrebbe aver inizialmente mancato alcuni decessi. Cambiamenti nella strategia di analisi virologica durante lo svolgimento della pandemia implicano che la gravità dei casi confermati oltre alla probabilità di segnalazione di un caso siano cambiati nel tempo e abbiano quindi introdotto una distorsione nei dati.

In questo rapporto, adattiamo il nostro precedente modello Bayesiano semi-meccanicistico del ciclo d'infezione alle 20 regioni italiane. Deduciamo limiti superiori ed inferiori (intervalli di credibilità Bayesiani) delle popolazioni infette (tasso d'attacco) e il numero riproduttivo nel tempo ( $R_t$ ). Nella

nostra struttura parametrizziamo  $R_t$  come una funzione dei dati di mobilità Google. Calibriamo il modello sui dati di COVID-19 di tutte le regioni per valutare se cambiamenti nella mobilità siano stati in grado di portare  $R_t$  sotto il valore di 1. Il nostro è un modello di pooling parziale, dove l'effetto della mobilità è condiviso ma variabili regionali permettono di catturare differenze ed idiosincrasie tra le regioni. In un secondo momento simuliamo nel futuro usando la semplice supposizione che la mobilità ritorni al 20% o 40% dei livelli pre-quarantena e analizziamo l'impatto di questo aumento della mobilità sull'intensità di trasmissione, le infezioni e i decessi.

In futuro, sarà nostra priorità estendere il modello per collegare la mobilità con un realistico meccanismo di contatti in modo da stabilire una relazione più accurata con la trasmissione.

### 5.1 Dettagli del modello

Osserviamo i decessi giornalieri  $D_{t,m}$  per i giorni  $t \in \{1, \dots, n\}$  e le regioni  $m \in \{1, \dots, M\}$ . Questi decessi giornalieri sono modellizzati usando una funzione positiva a valori reali  $d_{t,m} = E[D_{t,m}]$  che rappresenta il numero atteso di decessi attribuiti a COVID-19. Supponiamo che i decessi giornalieri  $D_{t,m}$  seguano una distribuzione binomiale negativa di media  $d_{t,m}$  e varianza  $d_{t,m} + \frac{d_{t,m}^2}{\psi}$ , dove  $\psi$  segue la parte positiva di una distribuzione normale, i.e.

$$D_{t,m} \sim \text{Negative Binomial} \left( d_{t,m}, d_{t,m} + \frac{d_{t,m}^2}{\psi} \right),$$

$$\psi \sim N^+(0,5).$$

Qui,  $N(\mu, \sigma)$  denota una distribuzione normale di media  $\mu$  e deviazione standard  $\sigma$ . Diciamo che  $X$  segue la parte positiva di una distribuzione normale  $N^+(\mu, \sigma)$  se  $X \sim |Y|$ , dove  $Y \sim N(\mu, \sigma)$ .

Per collegare meccanicisticamente la nostra funzione dei decessi alla nostra funzione latente dei casi infetti, usiamo una stima preesistente per la probabilità di decesso data un'infezione (infection fatality ratio), da COVID-19,  $\text{ifr}$ , assieme alla distribuzione dei tempi dall'infezione al decesso,  $\pi$ . Per dettagli si veda [16, 17]. Da quanto riportato sopra, ogni regione ha una propria media per la probabilità di decesso data un'infezione,  $\text{ifr}_m$  (vedi Tabella 1). Per incorporare l'incertezza inerente in queste stime permettiamo alla variabile  $\text{ifr}_m$  per ogni regione di avere un termine aggiuntivo per il rumore attorno alla media. In particolare, supponiamo  $\text{ifr}_m^* \sim \text{ifr}_m \cdot N(1, 0.1)$ .

Usando informazioni epidemiologiche stimate in studi precedenti [16, 17], assumiamo che la distribuzione dei tempi dall'infezione al decesso,  $\pi$  (infection-to-death), sia

$$\pi \sim \text{Gamma}(5.1, 0.86) + \text{Gamma}(17.8, 0.45).$$

Il numero atteso di decessi,  $d_{t,m}$ , per il giorno  $t$ , per la regione,  $m$ , è dato dalla seguente somma discreta:

$$d_{t,m} = \sum_{\tau=0}^{t-1} \text{ifr}_m^* X_{C\tau, m} \pi_{t-\tau},$$

dove  $c_{\tau,m}$  è il numero di nuove infezioni nel giorno  $\tau$  nella regione  $m$  e dove  $\pi$  è discretizzato tramite  $\pi_s =$

$$\int_{s-0.5}^{s+0.5} \pi(\tau) d\tau \text{ for } s = 2,3,\dots, \text{ e } \pi_1 = \int_0^{1.5} \pi(\tau) d\tau, \text{ dove } \pi(\tau) \text{ è la densità di } \pi.$$

Il vero numero di individui infetti,  $c$ , è modellizzato usando un processo di rinnovo (renewal process) discreto. Definiamo una distribuzione del tempo tra successive generazioni di infetti (generation distribution)  $g$  di densità  $g(\tau)$  come:

$$g \sim \text{Gamma}(6.5, 0.62).$$

Data la distribuzione del tempo tra successive generazioni, il numero di infezioni  $c_{t,m}$  al giorno  $t$ , e in regione,  $m$ , è dato dalla seguente funzione di convoluzione discreta:

$$c_{t,m} = S_{t,m} R_{t,m} \sum_{\tau=0}^{t-1} c_{\tau,m} g_{t-\tau}$$

$$S_{t,m} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{t-1} c_{i,m}}{N_m},$$

dove, in modo analogo alla funzione di probabilità di decesso, la distribuzione del tempo tra successive generazioni è discretizzata da  $g_s =$

$\int_{s-0.5}^{s+0.5} g(\tau) d\tau$  for  $s = 2,3,\dots$ , and  $g_1 = \int_0^{1.5} g(\tau) d\tau$ . La popolazione della regione  $m$  è denotata da  $N_m$ . Includiamo il fattore d'aggiustamento  $S_{t,m} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{t-1} c_{i,m}}{N_m}$  per tenere conto del numero di individui suscettibili nella popolazione.

Parametrizziamo  $R_{t,m}$  come una funzione lineare del cambiamento relativo (rispetto all' andamento di base) in tempo passato in tre ( $k=3$ ) dimensioni di mobilità Google: residenziale, stazioni di transito, e una media di commercio al dettaglio e attività ricreative, alimentari e farmacie, parchi e luoghi di lavoro. La ragione per la quale abbiamo preso la media era che queste dimensioni erano estremamente collineari. Supponiamo che l'effetto della mobilità sulla trasmissione sia moltiplicativo.  $R_{t,m}$  è dunque una funzione dell'indicatore di mobilità  $I_{k,t,m}$  al tempo  $t$  nella regione  $m$ :

$$R_{t,m} = R_{0,m} \left( 2\phi^{-1} \left( - \sum_{k=1}^3 (\alpha_k + \beta_{m,k}) I_{k,t,m} \right) \right)$$

dove  $\phi^{-1}$  è la funzione logit inversa. I coefficienti  $\alpha_k$  sono condivisi con tutte ed  $M$  le regioni e  $\beta_{m,k}$  consente di avere effetti specifici per regione. Questo modello è dunque un modello di pooling parziale (partial pooling model). Abbiamo scelto una distribuzione di probabilità a priori dei coefficienti condivisi data da

$$\alpha_k \sim N(0, 0.5),$$

e una distribuzione di probabilità a priori dei coefficienti per regione

$$\beta_{m,k} \sim N(0, \gamma) \text{ dove } \gamma \sim N+(0, 0.5).$$

Abbiamo scelto la distribuzione di probabilità a priori di  $R_{0,m}$  [8] data da

$$R_{0,m} \sim N(3.28, \kappa) \text{ con } \kappa \sim N+(0, 0.5),$$

dove  $\kappa$  è condiviso tra tutte le regioni.

Supponiamo che l'introduzione di nuove infezioni sia avvenuta 30 giorni prima del giorno in cui la regione abbia raggiunto un numero cumulativo di 10 decessi. Da quel giorno e per 6 giorni consecutivi il nostro modello introduce lo stesso numero di infezioni:  $c_{1,m} = \dots = c_{6,m} \sim \text{Exponential}(\frac{1}{\tau})$ , dove  $\tau \sim \text{Exponential}(0.03)$ . Questa introduzione di infezioni è dedotta dalla nostra distribuzione Bayesiana a posteriori.

Stimiamo congiuntamente i parametri per tutte le regioni in un unico modello gerarchico. Abbiamo fittato il modello nel programma di linguaggio probabilistico Stan [2] usando un processo di campionamento adattivo Hamiltonian Monte Carlo (HMC).

## Referenze

A. Aktay et al. "Google COVID-19 Community Mobility Reports: Anonymization Process Description (version 1.0)". In: *ArXiv abs/2004.0* (2020).

B. Carpenter et al. "<i>Stan</i> : A Probabilistic Programming Language". In: *Journal of Statistical Software* 76.1 (2017), pp. 1–32. ISSN: 1548-7660. URL: <http://www.jstatsoft.org/v76/i01/>.

D Cereda et al. "The early phase of the {COVID}-19 outbreak in {Lombardy}, {Italy}". In: *arXiv* (2020).

SFlaxmanetal. *Report13:Estimatingthenumberofinfectionsandtheimpactofnon-pharmaceutical interventions on COVID-19 in 11 European countries.*

*Gazzetta Ufficiale.* accessed on 10.04.2020. URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/03/08/20A01522/sg>.

*Gazzetta Ufficiale.* accessed on 10.04.2020. URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/03/09/20A01558/sg>.

*Gazzetta Ufficiale.* accessed on 10.04.2020. URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/25/20A01278/sg>.

Y. Liu et al. "The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus". In: *Journal of Travel Medicine* (2020). ISSN: 17088305.

*Regione Emilia-Romagna.* accessed on 10.04.2020. URL: <https://www.regione.emiliaromagna.it/notizie/2020/febbraio/sospesa-attivita-scuole-nidi-e-manifestazionitutte-le-misure-adottate-contro-il-coronavirus>.

*Regione Emilia-Romagna.* accessed on 10.04.2020. URL: <https://www.regione.emiliaromagna.it/notizie/2020/febbraio/coronavirus-manifestazioni-pubblicheservizi-e-attivita-quelle-da-sospendere-e-quelle-che-possono-proseguire>.

*Regione Lombardia.* accessed on 10.04.2020. URL: [https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/2baae494-504d-4a11-b8ca-d471d463b7e8/dpcm-1-marzo2020\\_.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-2baae494-504d-4a11-b8cad471d463b7e8-n5qH6fK](https://www.regione.lombardia.it/wps/wcm/connect/2baae494-504d-4a11-b8ca-d471d463b7e8/dpcm-1-marzo2020_.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-2baae494-504d-4a11-b8cad471d463b7e8-n5qH6fK).

*Repubblica.* accessed on 10.04.2020. URL: [https://genova.repubblica.it/cronaca/2020/02/23/news/scuole\\_chiuse\\_in\\_liguria\\_fino\\_al\\_primo\\_marzo-249395272/](https://genova.repubblica.it/cronaca/2020/02/23/news/scuole_chiuse_in_liguria_fino_al_primo_marzo-249395272/).

*Salute.* accessed on 10.04.2020. URL: <http://www.salute.gov.it/portale/nuovocoronavirus/dettaglioNotizieNuovoCoronavirus.jsp?lingua=italiano&menu=notizie&p=dalministero&id=4184>.

*Trovanorme Salute.* accessed on 10.04.2020. URL: <http://www.trovanorme.salute.gov.it/norme/dettaglioAtto?id=73532&completo=true>.

*Trovanorme Salute.* accessed on 10.04.2020. URL: <http://www.trovanorme.salute.gov.it/norme/dettaglioAtto?id=73594>.

R. Verity et al. "Estimates of the severity of {COVID}-19 disease". In: *Lancet Infect Dis* in press (2020).

P. G. T. Walker et al. *Report 12: {The}{Global}{Impact} of {COVID}-19 and {Strategies} for {Mitigation} and {Suppression}*. URL: <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectiousdisease-analysis/news--wuhan-coronavirus/>.

## Riconoscimenti

Vogliamo ringraziare Amazon AWS e Microsoft Azure per il supporto computazionale. Vogliamo ringraziare il team di sviluppo Stan per il loro costante supporto.

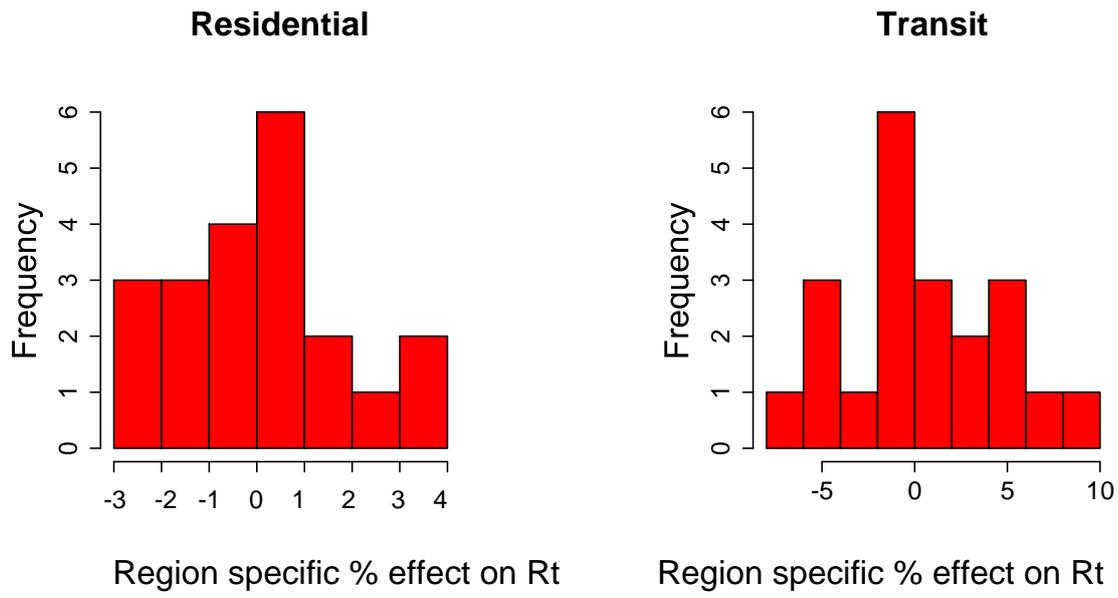


Figura 9: Dimensioni dell'effetto di pooling parziale per le tre tipologie di mobilità.

## 6. Appendice

### 6.1 Risultati per le regioni italiane non mostrate nel testo principale

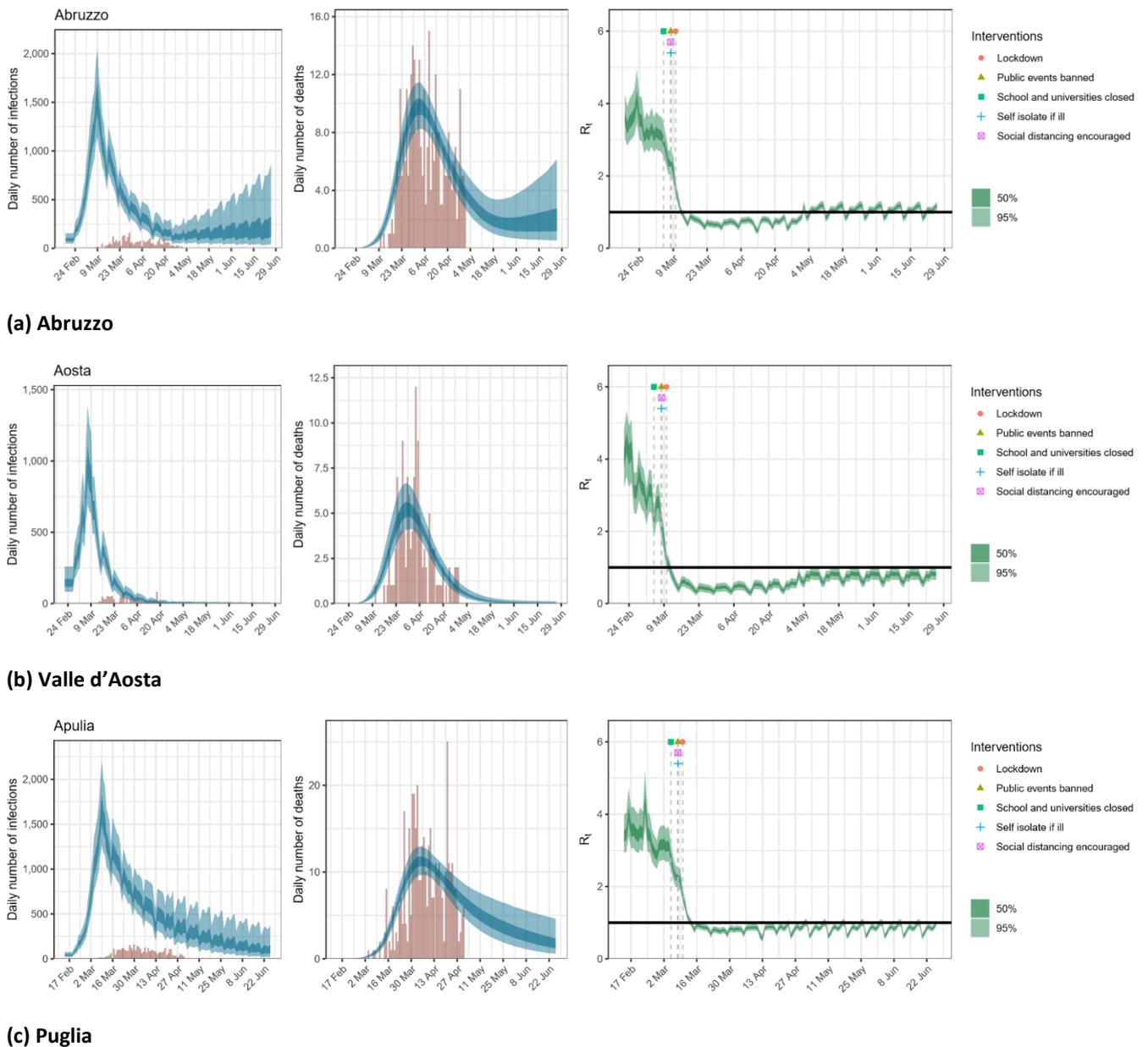
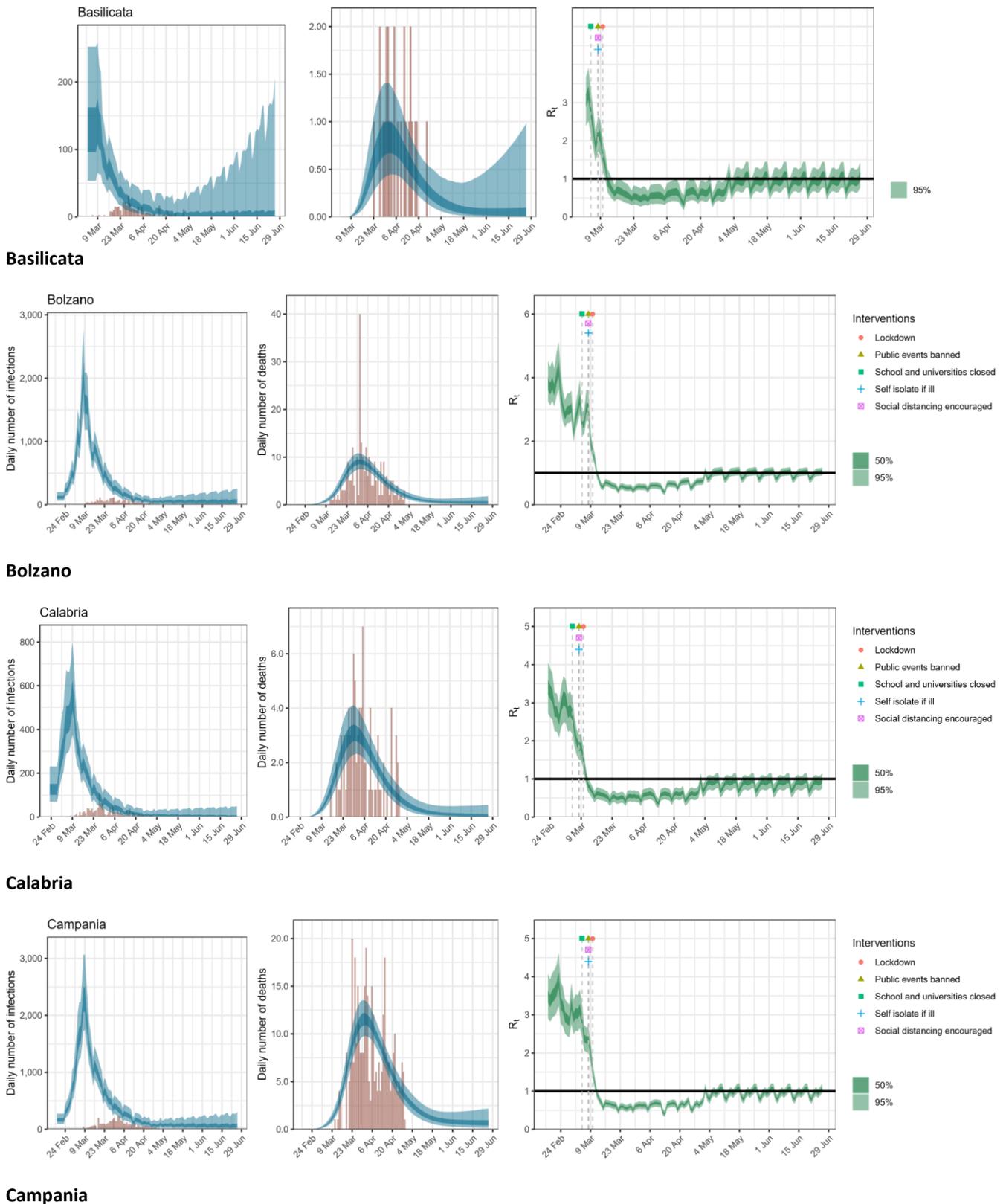
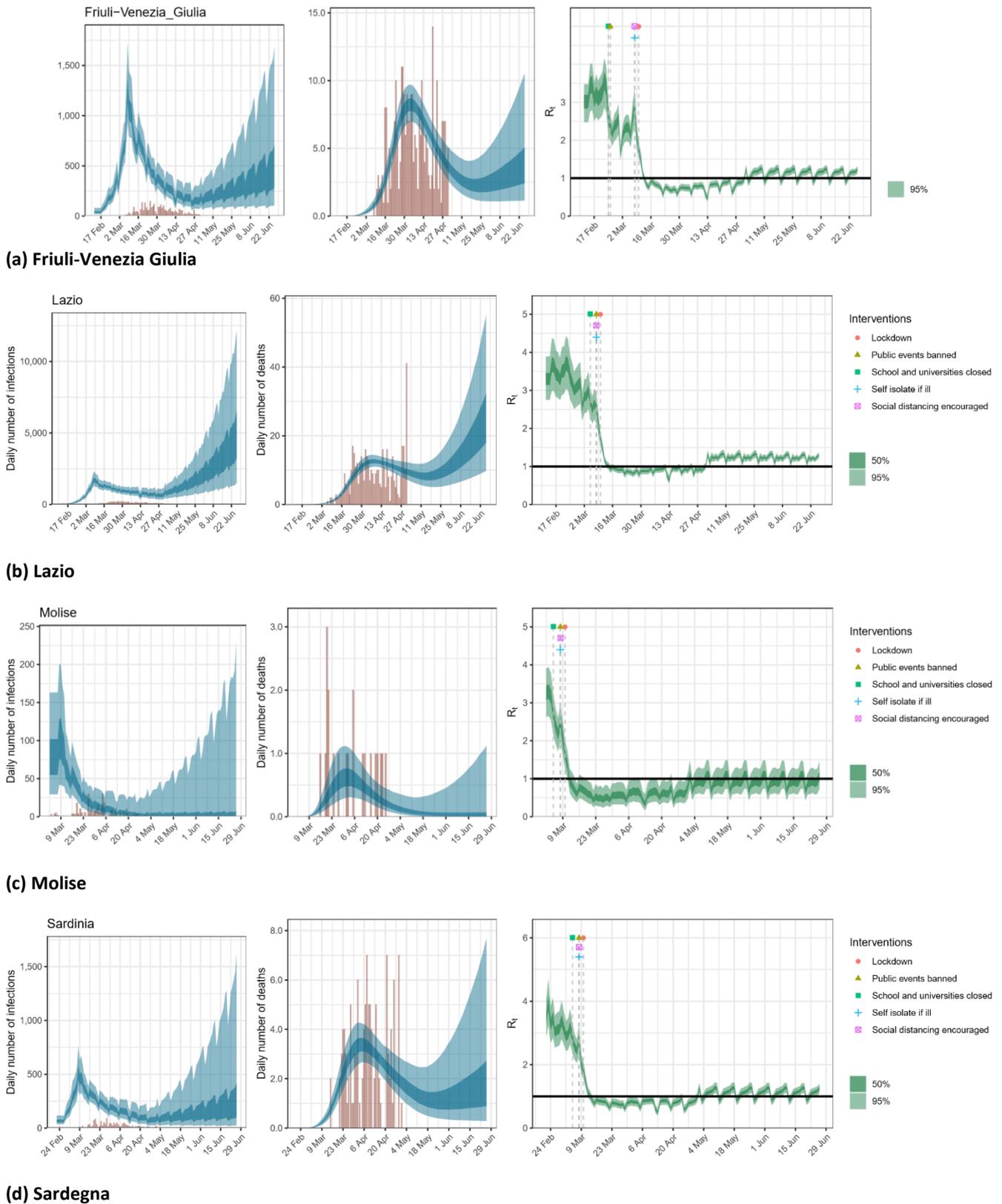


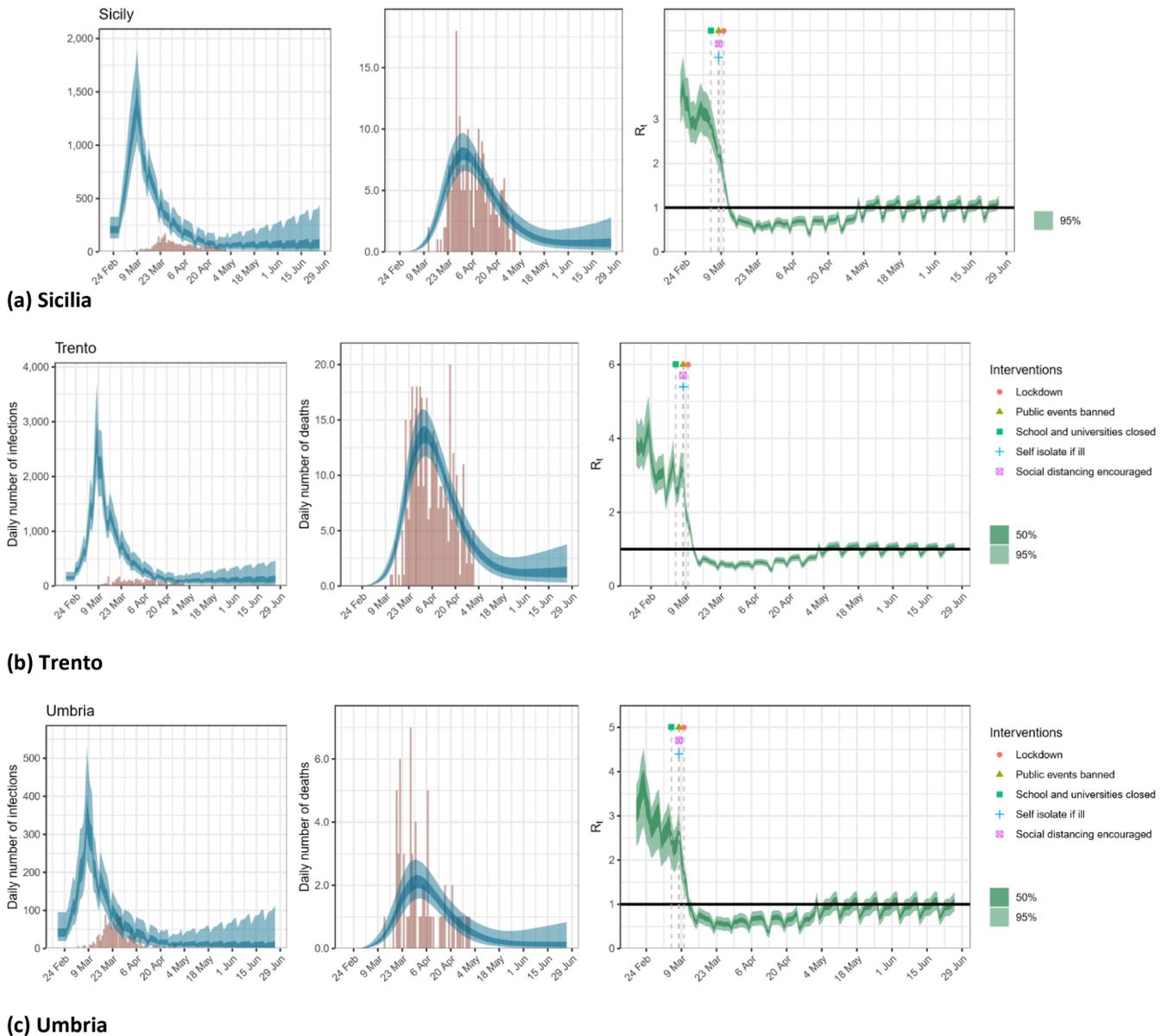
Figura 10: Stima delle infezioni, decessi e  $R_t$  per Abruzzo, Valle d'Aosta e Puglia, nello scenario di ripristino della mobilità al 20% dei livelli pre-quarantena; stesse variabili mostrate in Figura 7.



**Figura 11: Stima delle infezioni, decessi e  $R_t$  per Basilicata, Bolzano, Calabria e Campania nello scenario di ripristino della mobilità al 20% dei livelli pre-quarantena; stesse variabili mostrate in Figura 7.**

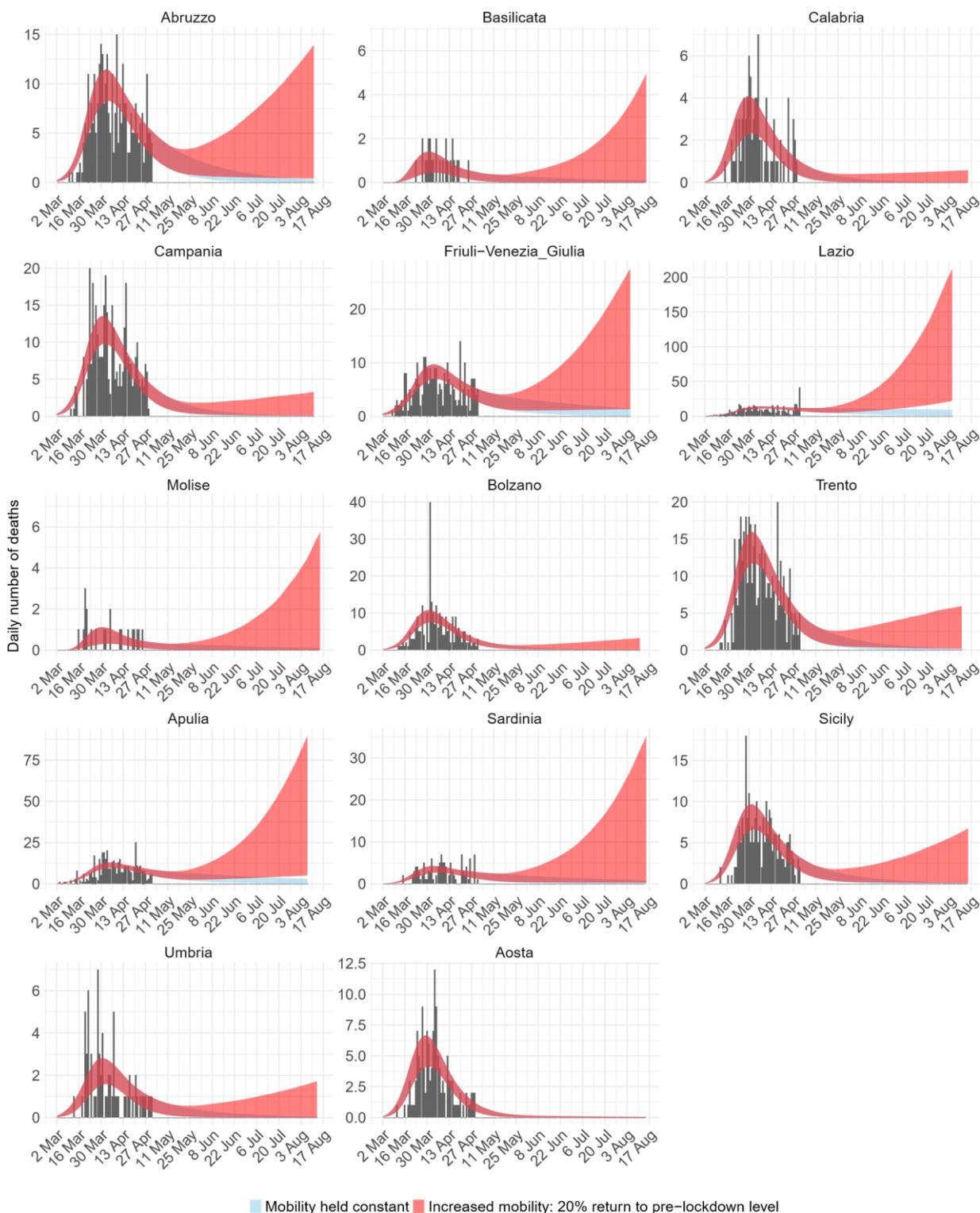


**Figura 12: Stima delle infezioni, decessi e  $R_t$  per Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Molise e Sardegnia nello scenario di ripristino della mobilità al 20% dei livelli pre-quarantena; stesse variabili mostrate in Figura 7.**

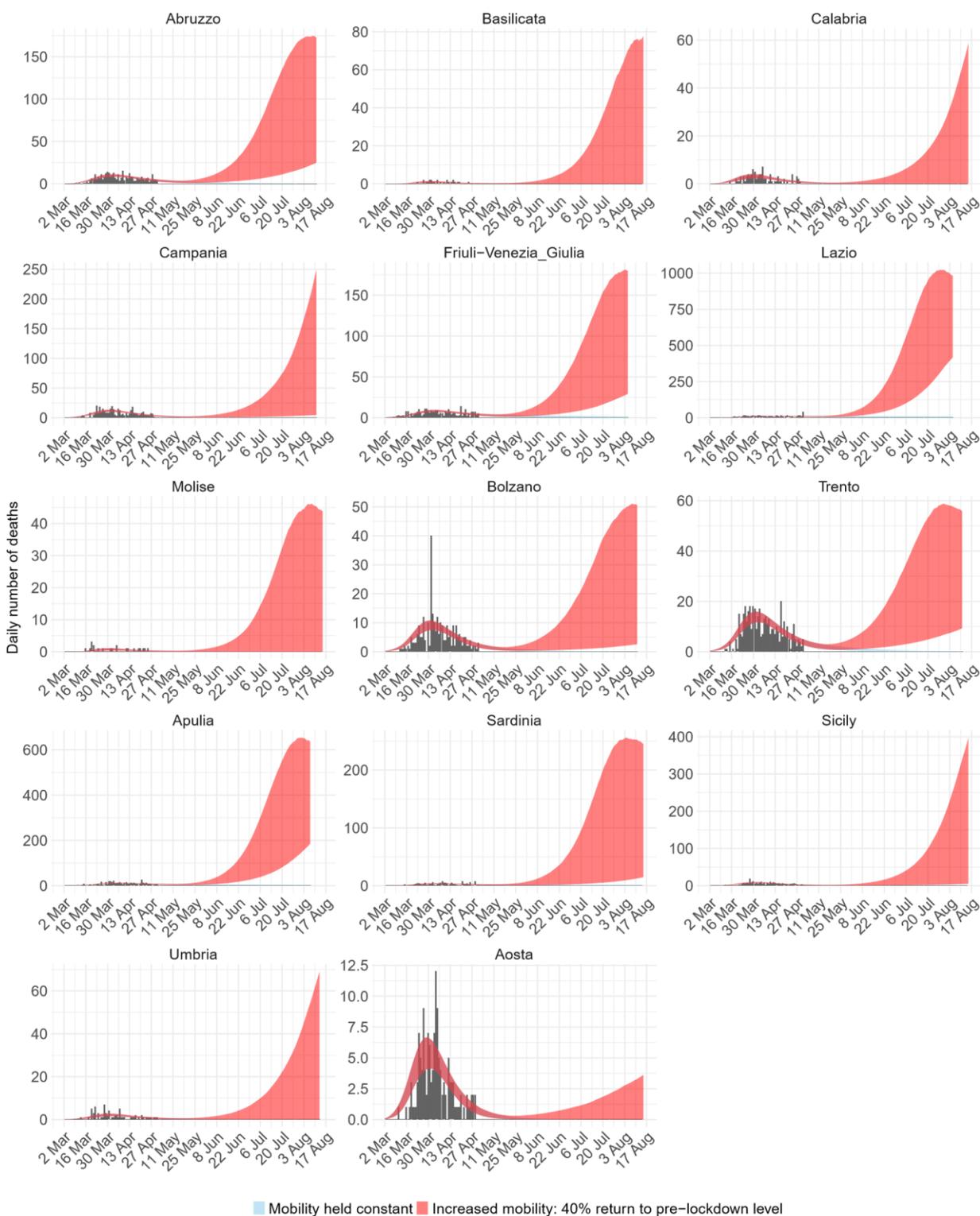


**Figura 13: Stima delle infezioni, decessi e  $R_t$  per Sicilia, Umbria e Trento nello scenario di ripristino della mobilità al 20% dei livelli pre-quarantena; stesse variabili mostrate in Figura 7.**

**6.2 Scenari per le regioni italiane non incluse nel testo principale**



**Figura 14: Decessi per le 14 regioni non incluse nel testo principale. Le barre nere sono i dati, la fascia azzurra è l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità resta ai livelli osservati durante la quarantena, e in rosso è l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità torna ad essere pari al 20% dei livelli osservati pre-quarantena.**



**Figura 15: Decessi per le 14 regioni non incluse nel testo principale. Le barre nere sono i dati, la fascia azzurra è l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità resta ai livelli osservati durante la quarantena, e in rosso è l'intervallo di credibilità al 95% nello scenario in cui la mobilità torna ad essere pari al 40% dei livelli osservati pre-quarantena.**

**6.3 Interventi**

Regione	Intervento	Data	Fonte
Abruzzo	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Abruzzo	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Abruzzo	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Abruzzo	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Abruzzo	Quarantena	10.03.2020	[6]
Valle d'Aosta	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Valle d'Aosta	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Valle d'Aosta	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Valle d'Aosta	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Valle d'Aosta	Quarantena	10.03.2020	[6]
Puglia	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Puglia	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Puglia	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Puglia	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Puglia	Quarantena	10.03.2020	[6]
Basilicata	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Basilicata	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Basilicata	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Basilicata	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Basilicata	Quarantena	10.03.2020	[6]
Bolzano	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Bolzano	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Bolzano	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Bolzano	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]

Bolzano	Quarantena	10.03.2020	[6]
Calabria	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Calabria	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Calabria	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Calabria	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Calabria	Quarantena	10.03.2020	[6]
Campania	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Campania	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Campania	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Campania	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Campania	Quarantena	10.03.2020	[6]
Emilia Romagna	Chiusura delle scuole	24.02.2020	[9]
Emilia Romagna	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Emilia Romagna	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Emilia Romagna	Eventi pubblici	23.02.2020	[10]
Emilia Romagna	Quarantena	10.03.2020	[6]
Friuli-Venezia Giulia	Chiusura delle scuole	24.02.2020	[7]
Friuli-Venezia Giulia	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Friuli-Venezia Giulia	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Friuli-Venezia Giulia	Eventi pubblici	25.02.2020	[7]
Friuli-Venezia Giulia	Quarantena	10.03.2020	[6]
Lazio	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Lazio	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Lazio	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Lazio	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Lazio	Quarantena	10.03.2020	[6]
Liguria	Chiusura delle scuole	24.02.2020	[12]
Liguria	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Liguria	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]

Liguria	Eventi pubblici	25.02.2020	[7]
Liguria	Quarantena	10.03.2020	[13]
Lombardia	Chiusura delle scuole	24.02.2020	[7]
Lombardia	Misure a livello individuale	08.03.2020	[15]
Lombardia	Distanziamento sociale	08.03.2020	[15]
Lombardia	Eventi pubblici	23.02.2020	[11]
Lombardia	Quarantena	08.03.2020	[5]
Marche	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Marche	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Marche	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Marche	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Marche	Quarantena	10.03.2020	[6]
Molise	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Molise	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Molise	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Molise	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Molise	Quarantena	10.03.2020	[6]
Piemonte	Chiusura delle scuole	24.02.2020	[11]
Piemonte	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Piemonte	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Piemonte	Eventi pubblici	25.02.2020	[7]
Piemonte	Quarantena	10.03.2020	[6]
Sardegna	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Sardegna	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Sardegna	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Sardegna	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Sardegna	Quarantena	10.03.2020	[6]
Sicilia	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Sicilia	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]

Sicilia	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Sicilia	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Sicilia	Quarantena	10.03.2020	[6]
Toscana	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Toscana	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Toscana	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Toscana	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Toscana	Quarantena	10.03.2020	[6]
Trento	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Trento	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Trento	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Trento	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Trento	Quarantena	10.03.2020	[6]
Umbria	Chiusura delle scuole	05.03.2020	[14]
Umbria	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Umbria	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Umbria	Eventi pubblici	08.03.2020	[5]
Umbria	Quarantena	10.03.2020	[6]
Veneto	Chiusura delle scuole	24.02.2020	[7]
Veneto	Misure a livello individuale	08.03.2020	[5]
Veneto	Distanziamento sociale	08.03.2020	[5]
Veneto	Eventi pubblici	23.02.2020	[11]
Veneto	Quarantena	10.03.2020	[6]