

CoViD-19. Diffusione spaziale e aspetti ambientali del caso italiano

*Giuseppe Borruso**, *Ginevra Balletto***, *Beniamino Murgante****,
*Paolo Castiglia*****, *Marco Dettori*****

Parole chiave: *CoViD-1*, *Diffusione Spaziale*, *Ambiente*, *Consumo di Suolo*, *Qualità dell'Arìa*

1. *Introduzione. Geografia e diffusione*

La ricerca è partita da una domanda geografica di base, riguardante la diffusione del CoViD-19 al di fuori dalla Cina in Europa. Perché l'Italia per prima? Il nostro paese è stato colpito seriamente, il primo nei paesi industrializzati e occidentali, e con i casi più alti a inizio della pandemia, subito dopo la provincia di Hubei, in Cina, rendendolo, di fatto, un paese 'pioniere' nella concentrazione della pandemia e nella sua diffusione, con una progressione che ha presto, tra la fine di febbraio e marzo 2020, superato la Cina e la sua 'vicina' Corea del Sud. Tale posizione di 'pioniere' o di prima linea nell'affrontare la diffusione del Sars-Cov2 e della malattia ha causato, inizialmente, un'ampia e generalizzata chiusura del paese da parte dei paesi confinanti, unita a una generalizzata accusa di non aver affrontato correttamente l'evento.

Ciò ha dato spazio a un'ampia serie di domande di tipo geografico riguardanti la diffusione, la sua concentrazione e la trama disegnata dal contagio alle differenti scale, e riguardanti le diverse regioni e province d'Italia. Le questioni geografiche si presentano come centrali, e il recente dibattito nel nostro paese ha toccato vari aspetti, che si trovano richiamati nel presente contributo, legati agli aspetti globali / locali (Bozzato, 2020; Casti, 2020), a quelli di carattere più concettuale e di respiro generale (De Vecchis, 2020; Turco, 2020), quelli riferiti ad aspetti specifici, quali le relazioni tra aree urbane e interne (De Falco, 2020), alla mobilità (Tadini e Piva, 2020), alle sfide ai

* Trieste, Università degli Studi di Trieste, Italia.

** Cagliari, Università degli Studi di Cagliari, Italia.

*** Potenza, Università degli Studi della Basilicata, Italia.

**** Sassari, Università degli Studi di Sassari, Italia.

Il lavoro è frutto del lavoro e delle riflessioni svolte in comune degli autori. Ai soli fini concorsuali, è ravvisabile la seguente suddivisione dei paragrafi. I paragrafi 1, 4 e 7 sono stati curati da Giuseppe Borruso. Il paragrafo 2 è da attribuire a Paolo Castiglia e Marco Dettori. Il paragrafo 3 è stato curato da Ginevra Balletto e Beniamino Murgante. Il paragrafo 5 è stato curato da Ginevra Balletto, Giuseppe Borruso e Beniamino Murgante. Il paragrafo 6 è stato sviluppato da Giuseppe Borruso e Ginevra Balletto. Le conclusioni nel paragrafo 8 sono state curate da tutti gli autori.

In generale, le elaborazioni con software GeoDa per LISA sono state svolte da Beniamino Murgante e Giuseppe Borruso; le rappresentazioni cartografiche da Giuseppe Borruso. L'impostazione del database è a cura di Ginevra Balletto, Giuseppe Borruso e Beniamino Murgante.

sistemi sanitari (Celata, 2020) e alla questione, centrale quanto sottovalutata, dei riferimenti amministrativi (Dini e Zilli, 2020). Di seguito, nel presente contributo, vengono presentate alcune riflessioni, collegate agli aspetti globali e locali del fenomeno, sviluppati in particolare dopo l'avvio dell'epidemia e la sua diffusione nei paesi occidentali, in particolare in Italia, legati ad aspetti di carattere climatico-ambientale e socio-economico e demografico.

2. Perché l'Italia? Le premesse sugli aspetti sanitari

Per tentare di dare una possibile risposta occorre sviluppare una specifica premessa con l'intento di mettere in luce i principali aspetti sanitari della vicenda:

Aspetti cronologici. Nel dicembre 2019 è emerso con un salto di specie in Cina, nella provincia di Wuhan, un nuovo Coronavirus. Un virus con una omologia di circa l'80% col virus della SARS, da cui il nome SARS-Cov-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*) (Gorbalenya *et al.*, 2020), che ha causato una vasta epidemia (CoViD-19) che nell'arco di un trimestre, ha travalicato i confini asiatici, assumendo una dimensione pandemica con oltre 3.137.344 casi e 227.790 morti al 30 aprile 2020 (European Center for Disease Prevention and Control) e con le seguenti principali caratteristiche:

- i. Modalità di diffusione. La malattia si trasmette per via interumana, attraverso le goccioline di Flugge come una normale influenza, ma anche per via indiretta (mani o fomite; WHO, 2020; 2020a; ISS, 2020). L'esordio, dopo un tempo medio di incubazione di 5-6 giorni (*range* compreso tra 2 e 14 giorni), è acuto e caratterizzato da sintomi influenzali (ECDC, 2020; WHO, 2020). Il decorso è simile a quello di una forma influenzale, in genere in forma lieve o moderata, in particolare in soggetti giovani e senza co-morbidità (ISS, 2020). La severità invece aumenta in funzione dell'età e così pure la letalità. La letalità è generalmente conseguente a quadri severi di CoViD-19 che si presentano con una polmonite interstiziale, in media attorno a 7 giorni dall'esordio, di cui una parte va incontro a un quadro critico con insufficienza respiratoria, cui può seguire shock settico e collasso multi-organo (Istituto Cattaneo, 2020; ISTAT, 2020).
- ii. Collocazione geografica. I dati della letalità da CoViD-19 nel territorio nazionale appaiono generalmente tra i più elevati rispetto ai Paesi europei e la Cina. In particolare, la pianura padana con riferimento alle province della Lombardia e dell'Emilia Romagna mostra valori di letalità significativamente più elevati rispetto al resto d'Italia, che può sottendere un reale maggiore rischio di polmoniti interstiziali o essere l'effetto di *bias*. In particolare, alcune spiegazioni plausibili addotte considerano in primo luogo alcune caratteristiche intrinseche della popolazione. Da un lato, infatti, l'Italia ha una popolazione mediamente più anziana rispetto alla Cina e questo la espone ad un rischio superiore di complicità della patologia ed alla presenza di co-morbidità delle persone più anziane (Istituto Cattaneo, 2020; ISTAT, 2020).

Nonostante ciò, questo dato da solo non può spiegare una così marcata differenza di distribuzione dei casi rispetto alle altre realtà nazionali. Peraltro, la letteratura non riporta alcuna deriva genetica propria dei popoli maggiormente colpiti dai focolai epidemici che possa spiegare la situazione. Per quanto concerne invece la possibilità di una predisposizione a sviluppare forme iperergiche, cui possa conseguire una maggiore letalità, alcune osservazioni si concentrano sempre più nei fattori ambientali della pianura padana, che collegata da una fitta rete di trasporti ed attività industriale è costantemente caratterizzata da forti concentrazioni di inquinanti atmosferici (Murgante *et al.*, 2020; 2020a). In particolare, il panorama scientifico ha già dimostrato l'esistenza di correlazioni significative tra elevate concentrazioni di particolato atmosferico e maggiore diffusione di alcuni microrganismi patogeni, quali il virus del morbillo (Peng *et al.*, 2020). Peraltro, la costante esposizione ad inquinanti atmosferici può anche spiegare una condizione di infiammazione basale che può affliggere le popolazioni, alterando le condizioni fisiologiche e portando ad una maggiore predisposizione all'infezione e sviluppo della malattia (Chen e Schwarz, 2008; Corticini *et al.*, 2020).

3. *Aspetti geografici, ambientali, demografici e socioeconomici*

Tali considerazioni si aggiungono all'osservazione di consistenti similitudini tra l'area di Wuhan nella provincia di Hubei con quelle della metropoli nella Pianura Padana, con particolare riferimento alle condizioni geografiche e climatiche (presenza di fiumi e corpi idrici, terreni pianeggianti, limitata circolazione atmosferica e scarsità di vento), condizioni socio-economiche (produzione industriale, infrastrutture di trasporto e mobilità, distribuzione della popolazione, aspettativa di vita della popolazione), così come similitudini relative alle concentrazioni di inquinanti nell'atmosfera ed al consumo di suolo. In questo senso, abbiamo ipotizzato l'esistenza di una relazione tra inquinanti e la diffusione del virus sia in riferimento all'esplosione dell'epidemia e sia in riferimento alla sua letalità. In particolare abbiamo preso in considerazione il consumo del suolo e l'inquinamento atmosferico, riferito al particolato ($PM_{2.5}$ e PM_{10}) e i componenti a base azotata, come NO_x e NH_3 , derivanti dalle attività umane – industria, traffico, riscaldamento domestico, agricoltura e zootecnia intensiva. Infatti, la presenza di inquinanti atmosferici genera o può generare uno stress sulle condizioni di salute della popolazione e determinare le pre-condizioni per lo sviluppo sia di malattie legate al sistema respiratorio. Inoltre, le particolari condizioni atmosferiche, compresa l'inversione termica, tipica del periodo invernale potrebbero avere peggiorato la situazione ambientale nelle aree – di Wuhan e della Valle del Po. Le due aree presentano anche la stessa classificazione climatica di Köppen che in aggiunta alle profonde analogie tipiche dei contesti di pianura fluviale caratterizzati da uno spazio isotropo à la Christaller le rendono almeno paragonabili se non del tutto simili.

4. *Processi di diffusione in geografia*

4.1. *Alcuni richiami teorici* – Un’esplosione epidemica è un caso tipico, per quando drammatico e spaventoso, di diffusione spaziale, un argomento ben noto e studiato in geografia. Il concetto di diffusione in geografia implica il movimento di un certo evento, o insieme di eventi, nello spazio e nel tempo, e determina come risultato un processo, e un disegno di una trama geografica (pattern) (Hagerstrand, 1967; Gould, 1969; Morrill, 1970; Morrill e Hagerstrand, 2005).

La diffusione è oggetto di studio della geografia con riferimento a tipologie di casi e situazioni molto diverse, dalle epidemie alla crisi finanziaria, dai fenomeni migratori agli stili musicali, dalla geografia fisica a quella umana ed economica. L’analisi di questi fenomeni, realizzata dagli autori in diversi contesti, porta a riassumere alcuni elementi di base.

Una prima categorizzazione della diffusione si distingue tra rilocalizzazione ed espansione. La rilocalizzazione implica lo spostamento fisico e l’abbandono del luogo di origine del fenomeno, per ricollocarsi in uno nuovo (es. fenomeni migratori in cui alcuni gruppi abbandonano del tutto i luoghi di origine per insediarsi in una nuova posizione).

L’espansione implica estensione, nello spazio e nel tempo, di un determinato stato, o evento, da coprire e riempire tutto lo spazio disponibile (es. la prima rivoluzione industriale, con un momento di nascita in Inghilterra e Germania e il successivo sviluppo nel resto d’Europa e del mondo).

Il processo di diffusione per espansione può avvenire in diversi modi, e seguendo regole diverse: contagio, gerarchico, a cascata. Il processo di diffusione ‘a contagio’ si può dire sia il tipico processo locale, che implica un contatto tra il soggetto che trasporta l’innovazione (anche un virus rappresenta un’innovazione’), e quelli non ancora interessati. L’espansione gerarchica si verifica quando l’innovazione si sviluppa per mezzo di canali privilegiati di comunicazione e tra centri di importanza diversa, generalmente in modo più veloce dal centro superiore a quello inferiore. Questo processo è spesso associato a una diffusione a rete, dato che sistemi di comunicazione favoriscono connessioni e diffusione dell’innovazione nello spazio e nel tempo. La diffusione a cascata è generalmente veloce dall’alto verso il basso (dai centri maggiori a quelli minori) e lenta quando si muove da centri gerarchicamente inferiori verso quelli più in alto: quando tuttavia raggiunge un centro più elevato, si innescherà una diffusione dall’alto verso il basso.

4.2. *CoViD-19 teoria e pratica* – La diffusione di un virus segue una combinazione delle modalità menzionate precedentemente, ma gli autori come Cliff e Haggett (Haggett, 2001; Haggett e Cliff, 2003; 2005; Cliff, Haggett e Smallman-Raynor, 2004; Cliff e Haggett, 2006) ricordano come i processi di diffusione si verificano come ‘onde di diffusione spaziale’, a iniziare da un singolo luogo o da un insieme di luoghi, per poi distribuirsi secondo diversi processi e coprendo aree più vaste. Haggett e Cliff, anche in collaborazione con Smallman-Raynor, tra i geografi, hanno modellizzato queste tipologie di diffusione, valutando anche la relazione tra eventi epidemici nello spazio e nel tempo e le natura ondulatoria delle epidemie. Infatti, i processi di diffusione

epidemiche sono una combinazione di espansione e rilocalizzazione. Di solito un'epidemia inizia in una determinata regione dello spazio, espandendosi, e la rilocalizzazione avviene quando "l'impronta" dell'epidemia diminuisce nel luogo di origine e continua, invece, a crescere in regioni che vengono interessate in momenti più recenti. Il processo di diffusione è inoltre del tipo 'a contagio', quando il virus si diffonde attraverso i contatti diretti, 'a rete' e quando segue le reti di relazioni e i flussi tra individui e luoghi, 'gerarchico', in quanto i centri più importanti influenzano un più alto numero di centri più piccoli o meno rilevanti, 'a cascata' quando è generalmente più intenso dall'alto verso il basso (ovvero dai centri gerarchicamente superiori a quelli inferiori) che viceversa. L'"onda" cambia inoltre direzione, una volta in cui la popolazione guarisce e le regioni in cui l'infezione si è sviluppata per prima ritornano a una situazione di normalità. Da un punto di vista geografico, l'onda di diffusione segue, generalmente e in teoria, un percorso a 5 passaggi (fig. 1).

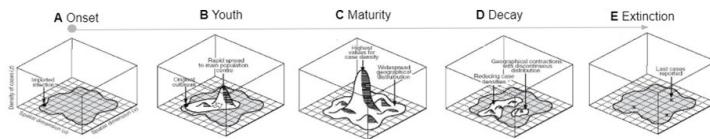


Fig. 1 – Fasi di un'onda epidemica.

Fonte: elaborazione e adattamento degli autori da Cliff e Haggett (2006).

A. Inizio: L'"innovazione", come il nuovo virus, entra "in una nuova regione con una popolazione sensibile all'infezione". Tipicamente riguarda una singola località, o un insieme di località.

B. Giovinezza: In questo passaggio, l'infezione si sviluppa rapidamente dal proprio luogo di origine verso i centri principali di popolazione. Riscontri dalle passate epidemie evidenziano sia processi di diffusione locale (contagio) sia di più lungo raggio (gerarchico, a cascata).

C. Maturità: in questa fase viene raggiunta la più alta intensità, con cluster diffusi su tutta la popolazione sensibile, tutte le aree coinvolte nell'epidemia. L'intensità è massima, con differenze nella densità dell'infezione nelle diverse sotto-aree.

D. Declino: Si registra un declino e casi più limitati, con una contrazione spaziale più lenta rispetto alle fasi di diffusione vera e propria. Le aree caratterizzate da bassa densità dell'infezione appaiono sparse.

E. Estinzione: La coda dell'onda epidemica può essere osservata in pochi casi e sparsi, principalmente in aree meno accessibili.

Considerando che la diffusione ha luogo localmente seguendo un modello 'a contagio', una diffusione gerarchica è invece responsabile della diffusione regionale e internazionale. In linea con ciò, la vicina Corea del Sud è stata la prima nazione colpita, seguita, qualche settimana dopo, da un paese occidentale, come l'Italia, e successivamente altri paesi europei e nordamericani nelle settimane seguenti. Recenti studi (Tatem *et al.*, 2006; Ben-Zion *et al.*, 2010; Bowen e Laroc, 2006; e, in particolare, quello di Brokmann e Helbing, 2013) sulla SARS e sull'influenza suina mostrano la geometria di rete del sistema

di trasporto – in particolare del trasporto aereo – come ‘l’intelaiatura’ delle interazioni umane alla scala globale, così come la base per la rete di diffusione virale al di fuori del luogo di origine.

Le simulazioni proposte da questi autori mostrano come un’epidemia sviluppata in Cina verrebbe facilitata nella diffusione verso terraferma e verso i paesi confinanti – come Corea del Sud e Giappone –, l’Europa e gli Stati Uniti, per citare alcuni esempi di aree di principale destinazione. Le principali rotte aeree da e per la Cina connettono destinazioni europee – coprono il 9,8% del traffico aereo europeo totale – con Amsterdam Schiphol, Francoforte, Londra, Parigi, Roma tra gli aeroporti principali e rappresentano il numero più alto di collegamenti internazionali (Flightconnections, 2020; Eurostat, 2019; Borruso, 2013).

Studi recenti sembrano mostrare come il paziente zero in Europa fosse stato identificato in Germania, sebbene asintomatico, a gennaio 2020 (Rothe *et al.*, 2020), dove nello stesso periodo vi è stato un picco influenzale particolarmente alto (Koch Institute, 2020). Tuttavia, le condizioni per l’esplosione del virus, in ogni caso, si sono trovate in Italia, che di conseguenza è stata colpita per prima e in una modalità molto aggressiva.

5. *La banca dati e le analisi*

L’analisi che si è sviluppata ha voluto considerare gli aspetti sanitari, legati al CoViD-19, e gli aspetti di carattere ambientale, demografico e socio-economico riferiti all’ambito geografico.

I dati sono riferiti alle province, livello amministrativo intermedio tra Comuni e Regioni. Sono state selezionate come le unità minime cui riferire e confrontare le osservazioni dei dati. Ciò, nonostante la loro eterogeneità in termini di forma e dimensioni (Openshaw, 1983; Cressie, 1996; Unwin, 1996; O’Sullivan e Unwin, 2010), popolazione, densità e diversità morfologiche ravvisabili all’interno delle singole unità. I problemi sulle unità territoriali di riferimento dei dati per l’analisi e la gestione della crisi rappresenta uno dei punti problematici e chiave nella questione (si vedano anche Dini e Zilli, 2020). Tuttavia, l’areale provinciale è l’unica a consentire un’analisi disaggregata al livello locale, consentendo una minore diluizione del dato rispetto all’aggregazione al livello regionale, come ampiamente divulgato dai media nel momento di massima diffusione del CoViD-19. Inoltre, vi è da sottolineare come, con riferimento alle aree maggiormente interessate dal fenomeno, ovvero quelle della pianura padana, le caratteristiche del territorio siano generalmente di un certo livello di uniformità e omogeneità, quasi isotropica in senso christalleriano, e che la compagine provinciale in parte del Piemonte, della Lombardia, del Veneto e dell’Emilia Romagna presentino dimensioni relativamente comparabili.

I dati assegnati alle unità provinciali sono stati diversi, in particolare quelli relativi a CoViD-19 si sono considerati i casi (contagi) e decessi alle date del 31 marzo e del 30 aprile 2020, come riportati dal Ministero della Salute e raccolti dalla Protezione Civile Nazionale. Il computo dei decessi ha richiesto un’analisi più articolata e impegnativa, in quanto, inizialmente, non resi disponibili

al livello provinciale, ma soltanto a quello, più aggregato, regionale. Inoltre, la ricerca è stata condotta selezionando diverse banche dati principalmente a scala provinciale per tutto il territorio nazionale relativamente a dati socio-economici e meteo-ambientali, considerati utili per esaminare i complessi aspetti territoriali dell'epidemia in Italia. I dati socio-economici e demografici (popolazione totale e suddivisa per classi di età, mortalità differenziata per cause) provengono dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) mentre dati ed indicatori ambientali provengono dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA), dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) dall'Agenzia Ambientale Europea (EEA - *European Environmental Agency*), dal Sole 24 Ore, da Legambiente, dall'Automobile Club Italiano (ACI), ed i dati meteo e del vento da ilmeteo.com e windfinder.com. Infine, sono state considerate la qualità dell'aria ($PM_{2.5}$, PM_{10} , NH_3 , CO , CO_2 , NO_x) e le condizioni meteo climatiche (umidità, vento e pioggia), per un totale di più di 80 indicatori.

Le analisi che si sono sviluppate, cui si rimanda (Murgante *et al.*, 2020; 2020a), hanno riguardato lo sviluppo di un apposito tasso mortalità standardizzata (SMR - *Standardized Mortality Ratio*) in cui è stata isolata la mortalità per CoViD-19 riferita alle diversità geografiche della mortalità generale, che tiene conto altresì delle variazioni anagrafiche e demografiche. Si sono ottenuti, pertanto, valori che indicano la previsione di decessi, su base provinciale, per il complesso delle diverse fasce d'età. Valori attorno all'unità indicano una mortalità in linea con le attese, valori superiori una mortalità superiore, mentre numeri inferiori all'unità evidenziano province con mortalità più basse delle aspettative.

L'SMR, assieme agli altri dati e indicatori raccolti nel database, sono stati analizzati per scoprire alcune prime relazioni tra variabili legate a CoViD-19 e agli altri aspetti, tramite l'analisi dell'autocorrelazione spaziale, quale base di partenza per ulteriori approfondimenti, tuttora in corso. L'autocorrelazione spaziale riguarda le similitudini, territoriali e di caratteristiche, di luoghi nello spazio contigui (Goodchild, 1986; Lee *et al.*, 2000). Tramite questa analisi è possibile analizzare la distribuzione spaziale di elementi, allo stesso tempo osservando il grado di influenza e di relazione con gli elementi vicini. Il LISA in particolare (*Local Indicators of Spatial Association*) consente di valutare la similarità tra ogni osservazione e gli elementi che la circondano (Anselin, 1988; 1995). Tra i risultati, è interessante osservare dove vi sono sia forti similitudini nella distribuzione territoriale degli elementi che dei loro attributi sia, per alcuni indicatori, dove invece tali similitudini non risultano né territorialmente né a livello di caratteristiche.

6. *Alcuni risultati. Tassi di mortalità, SMR, Densità di popolazione, Pendolarismo, Inquinamento*

Osservando i dati sulla mortalità, nonché sui casi positivi, a livello provinciale, è possibile osservare alcuni importanti risultati, sulla distribuzione e diffusione del fenomeno. La tabella 1 riassume i principali risultati, oggetto poi di visualizzazioni cartografiche apposite.

Tab. 1 – Province selezionate per SMR (30 marzo), Indici di pendolarismo, densità di popolazione, particolare.

Province	Popolazione (2019)	Abitanti/km ²	Indice di pendolarismo (1)	Indice di pendolarismo (2)	SMR (31 marzo 2020)	SMR (30 aprile 2020)	PM ₁₀ + O ₃ *
Bergamo	1114590	404,59	-1,71	22,27	12,356	7,21	349
Lodi	230198	294,01	-8,6	94,66	12,262	7,44	448
Piacenza	287152	111,05	-0,62	23,67	10,013	6,50	299
Cremona	358955	202,75	-3,94	41,76	9,583	6,51	417
Brescia	1265954	264,54	-0,44	12,82	7,055	5,01	401
Pavia	545888	183,89	-6,91	48,91	4,751	4,20	412
Parma	451631	131,01	0,79	14,62	4,494	3,53	342
Pesaro	358886	139,77	-0,96	14,48	4,417	2,82	0
Sondrio	181095	56,67	-0,3	8,82	2,763	2,31	35
Aosta	125666	38,54	0,86	6,51	2,723	2,33	61
Milano	3250315	2063,05	6,12	38,17	2,699	2,54	405
Lecco	337380	418,79	-3,08	56,45	2,572	2,88	282
Reggio Emilia	531891	232,15	-1,11	27,85	2,493	2,37	364
Alessandria	421284	118,38	-0,48	20,36	1,974	1,93	417
Trento	541098	87,18	-0,18	4,62	1,892	1,76	84
Biella	175585	192,26	-0,57	21,04	1,857	1,47	184
Novara	369018	275,34	-2,13	36,33	1,686	1,25	155
Rimini	339017	391,92	0,81	21,16	1,647	1,39	263
Verbania	158349	70,04	-0,88	13,85	1,560	1,12	45
Como	599204	468,49	-2,64	45,88	1,558	1,96	225
Modena	705393	262,43	0,71	22,69	1,529	1,37	383
Bolzano	531178	71,8	0,4	2,31	1,441	1,46	26
Vercelli	170911	82,11	-1,31	52,77	1,339	1,13	82

(segue)

(segue)

Massa	194878	168.78	-2.76	37.26	1.293	1.24	
Monza	873935	2155.69	-5.98	101.24	1.255	2.12	413
Mantova	412292	176.09	-1.43	29.31	1.225	3.38	343
Trieste	234493	1103.48	1.34	11.96	1.211	1,30	32

* Giorni di sfioramento dei limiti di $PM_{10} + O_3$ (2017-2019).

Fonte: elaborazione su dati da varie fonti (Popolazione, superficie delle unità amministrative, cause di morte: ISTAT 2019; Pendolarismo: ISTAT 2011; SMR: PCN, ISS, indagini degli autori; $PM_{10} + O_3$: Legambiente 2019).

Una prima analisi si può riferire al peso del CoViD-19 in termini di casi e decessi. La letalità è stata osservata in termini relativi con riferimento alla popolazione, e come dati standardizzati. Si è prodotta una carta dei casi (a) e dei decessi (b) ogni 100.000 abitanti riferiti alla data del 30 aprile 2020 (figg. 2, 3).

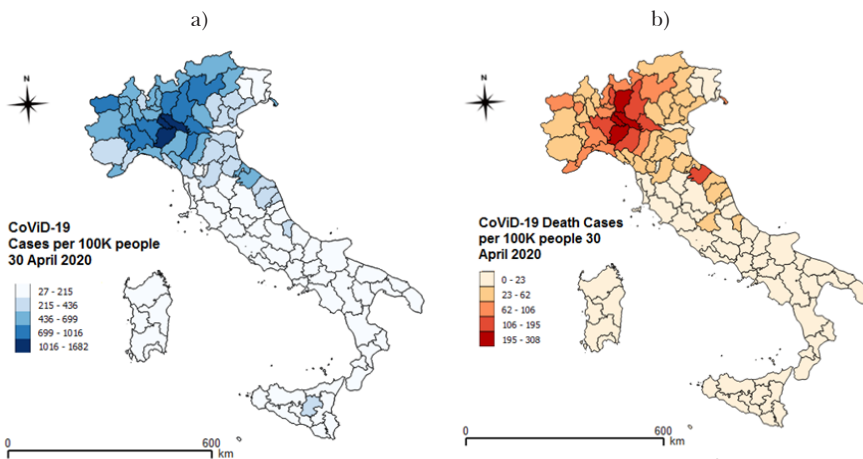


Fig. 2 – CoViD-19. Casi (a) e decessi (b) nelle province italiane.

Fonte: elaborazione degli autori da PCN, ISS e propria raccolta di dati (Murgante *et al.*, 2020, 2020a).

La classificazione in 5 classi mostra una maggioranza di province, soprattutto distribuite al centro e sud Italia, incluse le isole principali, conferma una relativamente bassa diffusione del virus. I valori più elevati possono essere trovati nelle cinque province a nord est, est e sud est di Milano (Bergamo, Brescia, Cremona e Lodi in Lombardia, Piacenza in Emilia Romagna. Con riferimento alla problematica legata a CoViD-19 si veda Casti, 2020). La mortalità sembra decrescere al di fuori di tale area 'core'. Le province del centro e sud Italia sembrano presentare valori molto bassi, a parte alcuni picchi che possono essere osservati nell'Emilia Romagna meridionale (provincia di Rimini) e nelle Marche (provincia di Pesaro).

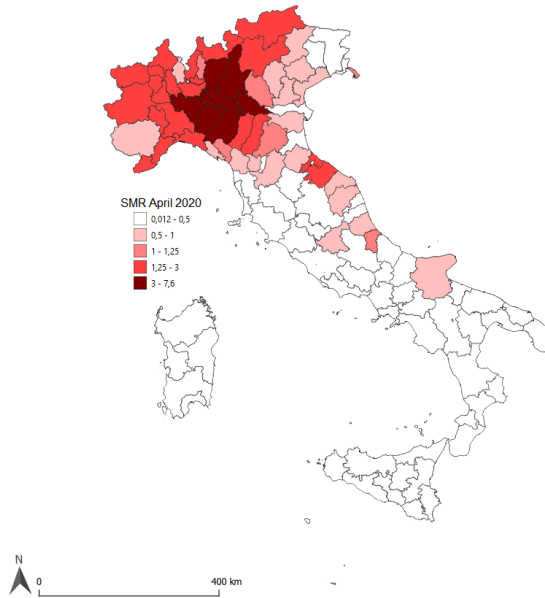


Fig. 3 – CoViD-19. SMR - mortalità standardizzata nelle province italiane.

Fonte: elaborazione degli autori da PCN, ISS e propria raccolta di dati (Murgante *et al.*, 2020, 2020a).

Il tasso di mortalità standardizzata (SMR, fig. 3) rappresenta un'ulteriore e rilevante analisi, con una netta separazione tra i valori attorno l'unità, che rappresentano le province dove la mortalità è in linea con le 'aspettative', e i valori al di sotto di questo valore, dove, addirittura, la mortalità è inferiore alle attese (al 30 aprile 2020). In altre province, in particolare quelle della Pianura Padana occidentale, comprese quelle montane, e sulla costa adriatica dell'Emilia Romagna e delle Marche, la mortalità standardizzata è considerevolmente superiore alle attese. Anche le principali aree urbane (Torino, Verona e Bologna) presentano valori attorno all'unità o di poco superiori, mostrando una mortalità apparentemente meno influenzata da CoViD-19, come mostrate anche dalle carte elaborate dal LISA (fig. 4). Qui, le aree 'high-high' indicano aree con un elevato grado di similitudine, sia in termini di contiguità territoriale, che di valori degli attributi collegati a quelle aree.

Questi dati sono stati confrontati con altri indicatori della 'geografia umana' dell'area, come la densità di popolazione e il pendolarismo. Il primo elemento, come la densità di popolazione, caratterizza in particolare la pianura padana, di fatto in due aree distinte, ai piedi delle Alpi a Nord, e degli Appennini al Sud, sebbene quest'ultima area presenti valori più bassi (Corna Pellegrini, 1977; De Matteis, 1992; Turri, 2000, 2003). L'area milanese, compresa Bergamo, una delle province più toccate dalla diffusione del virus, appare come la più uniforme e densa. Le analisi di autocorrelazione mostrano una certa omogeneità e uniformità di questi indicatori nelle medesime aree (figg. 5 'a' e 'b').

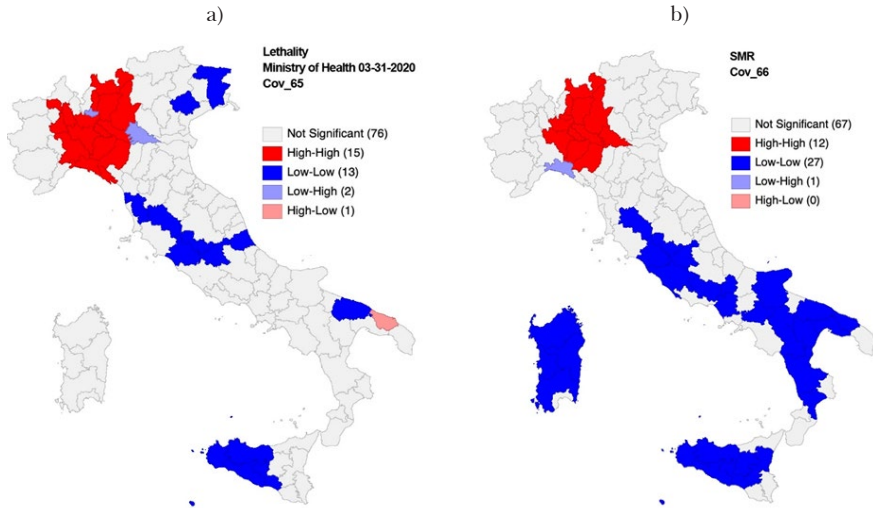


Fig. 4 – Autocorrelazione spaziale su indicatori “mortalità” (a) e “mortalità standardizzata” (b).
Fonte: elaborazione degli autori da PCN, ISS e propria raccolta di dati, da GeoDa (Murgante *et al.*, 2020, 2020a).

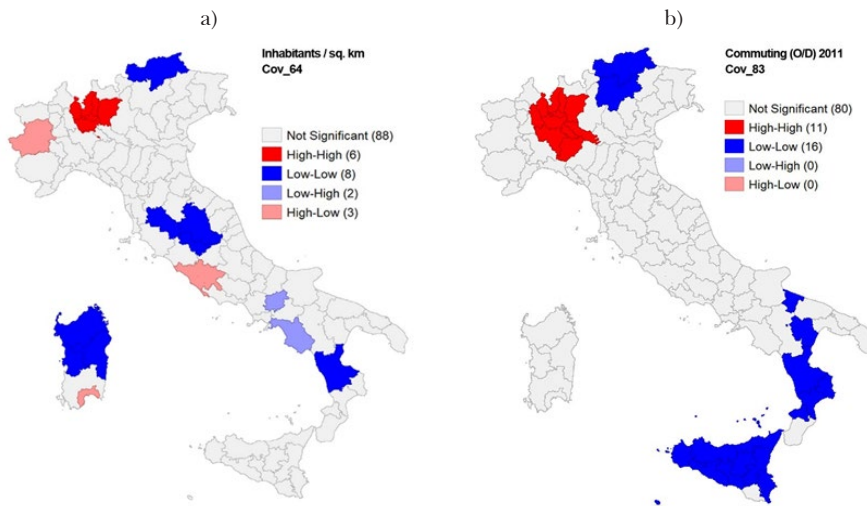


Fig. 5 – Autocorrelazione spaziale su indicatori “densità abitativa” (a) e “Indicatore di pendolarismo (2)” (b).
Fonte: elaborazione degli autori da ISTAT (2011; 2019), da GeoDa (Murgante *et al.*, 2020, 2020a).

Le caratteristiche geografico-economiche dell'area padana soprattutto, in termini di densità abitativa, di infrastrutture di trasporto e di insediamenti produttivi, ne fanno un'area particolarmente dinamica e, come si osserva, caratterizzata altresì da elevati livelli di emissioni inquinanti in atmosfera, così come in termini di consumo di suolo. Ciò, unito alle caratteristiche geomorfologiche dell'area, caratterizzata da scarsa circolazione atmosferica e tendenza al 'ristagno' dell'area, ne fa un'area particolarmente sensibile alle questioni le-

gate alla qualità dell'aria. Tra gli indicatori utilizzati nello studio, riportiamo, dalla tabella 1 relativa alle giornate di sfioramento del particolato, le analisi sull'autocorrelazione (fig. 6).

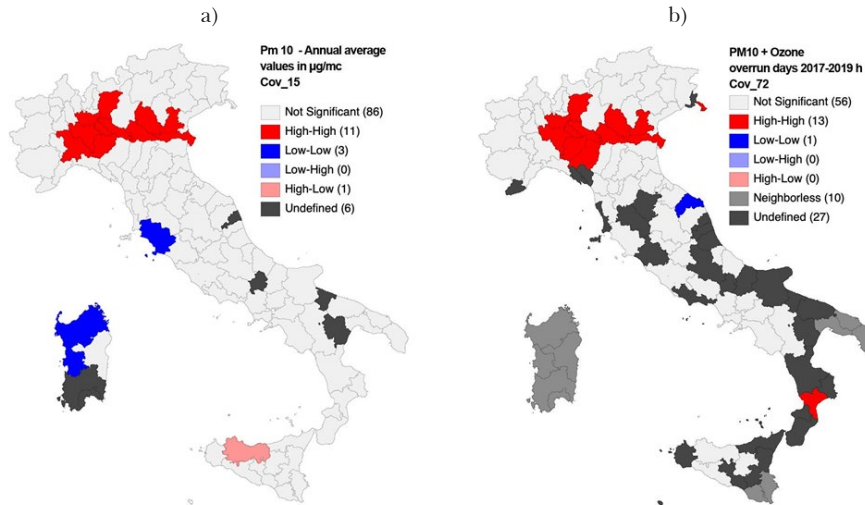


Fig. 6 – Autocorrelazione spaziale su indicatori “PM₁₀ (valori medi µg/mc)” (a) e “Giorni di sfioramento (PM₁₀+O₃) 2017-2019” (b).

Fonte: elaborazione degli autori da ISTAT (2011; 2019), da GeoDa (Murgante *et al.*, 2020, 2020a).

Da ciò si evincono le zone ‘high-high’ caratterizzate da elevati valori ed elevata contiguità in tutta l’area padana fino al delta.

7. Discussione

A questo riferimento abbiamo ipotizzato alcuni possibili caratteri del processo di diffusione avvenuto in Italia nei primi stadi di diffusione del CoViD-19 tra le diverse aree, tenendo tuttavia conto che è ancora disponibile un insieme e una qualità di dati relativamente limitati, e non è ancora possibile trarre conclusioni finali.

A parte la relazione esistente fra i primi due focolai ufficiali, quali Codogno e Vo, e quello di Alzano e Nembro, solo successivamente riconosciuto ed evidenziato, si può argomentare che, essendo questi centri relativamente minori nell’area considerata, ci siamo trovati di fronte a un processo di diffusione spaziale dal basso verso l’alto, verso centri di dimensioni medie maggiori in Lombardia, Piemonte, Veneto ed Emilia Romagna. Codogno, in particolare, è situato al centro di un triangolo formato da tre città di dimensioni medie, come Piacenza, Cremona e Lodi – in testa, tra le altre cose (tab. 1), come livelli di emissioni di particolato per diversi anni – molto ben collegate all’area milanese e alla regione industriale alle sue estremità orientali (con Brescia e Bergamo).

Le connessioni autostradali e il sistema della viabilità principale statale e regionale/provinciale sono l’ossatura principale del pendolarismo, in un’a-

rea caratterizzata da elevati livelli di accessibilità, sebbene spesso saturata dal traffico pesante e dalla congestione automobilistica, L'autostrada A4 Torino – Trieste collega le principali città e le aree industriali a nord del Po nell'area metropolitana (in senso funzionale) di Milano. Questa appare come l'area più influenzata dall'esplosione del CoViD-19, con le province di Bergamo e Brescia in particolare. Una seconda propaggine importante della pianura padana può essere utilizzata nella parte meridionale, verso la fascia pedemontana della catena appenninica, seguendo un orientamento Nordovest – sudest, in linea con l'asse autostradale della A1-A14, attraversando Bologna, e la via Emilia, la statale che segue l'antica via di comunicazione romana da Milano in Lombardia ad Ancona nelle Marche. Qui possiamo trovare località tra le principali per presenza e mortalità da CoViD-19 nella parte meridionale della pianura padana: Milano, Codogno, Piacenza, Parma, Reggio Emilia, Modena, Bologna, Forlì, Cesena e Rimini. Dal punto di vista del trasporto stradale, un segmento importante è caratterizzato dall'autostrada A21, che collega Brescia a Piacenza e alla A1, spesso usata come alternativa di by-pass per l'accesso alla città di Milano da sud, evitando la congestione dell'accesso tra la A1 e la circonvallazione attorno alla città.

Un processo di diffusione dal basso, gerarchico, potrebbe aver raggiunto tali centri di dimensioni medie e di più grandi dimensioni, diffondendosi poi, a cascata, dall'alto verso il basso, verso i centri minori, e attivando di nuovo processi locali di contagio. Tali centri di ordine superiore possono essere considerati quelle città che ospitano servizi e strutture specializzate, come ospedali, centri sanitari e residenze per anziani. Processi di diffusione dall'alto verso il basso si sono presumibilmente verificati fra città di dimensioni medie: Bergamo, Brescia, Cremona, Parma Piacenza, Rimini, Pesaro, solo per citare alcune tra le più coinvolte dalla diffusione del CoViD-19, mentre in proporzione i centri di più grandi dimensioni, come Milano, Torino e Bologna, anche e maggiormente coinvolte in valori assoluti, lo sono stati meno in senso relativo, in ogni caso presumibilmente più per la presenza di strutture ospedaliere e di assistenza per anziani, focolai di ulteriore infezione, piuttosto che quali ambienti densi che abbiano favorito più forti processi di diffusione. Può essere

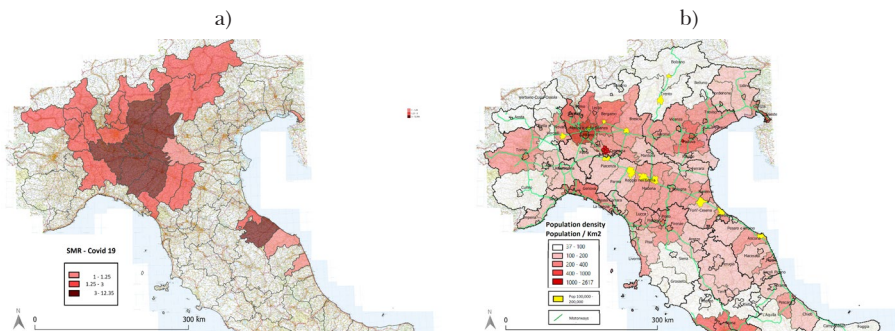


Fig. 7 – SMR (a) e assetto demografico e urbano (Densità di popolazione, rete viaria, capoluoghi tra 100.000 e 200.000 abitanti).

Fonte: elaborazione degli autori da dati ISTAT, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, PCN, ISS e propria raccolta di dati (Murgante *et al.*, 2020, 2020a).

anche notata una similitudine nelle classi di densità, essendo queste province generalmente comprese fra i 300 e 400 ab/kmq. Come evidenziato in altre ricerche (25) queste realtà sono caratterizzate dalla presenza di capoluoghi di provincia generalmente compresi tra 100.000 e 200.000 abitanti (fig. 7).

Tali elementi sembrano interessanti per aiutare a comprendere sia il potenziale di diffusione locale del CoViD-19, sia comprendere i modelli e gli schemi e le conseguenze sulla qualità dell'aria e del suolo.

8. Considerazioni conclusive

Le questioni territoriali appaiono centrali nell'esplosione del virus SARS-Cov-2 e nel conseguente sviluppo della seguente malattia CoViD-19. Le analisi locali/globali, caratteristiche delle discipline geografiche, si prestano ad analizzare un fenomeno complesso, di difficile interpretazione e comprensione, quale una diffusione virale, proprio per sue caratteristiche di specificità e peculiarità che di volta in volta si presentano. La 'curiosità' geografica ha fatto sorgere la domanda, oggetto dell'ampia ricerca di cui, nel presente contributo, si è cercato di evidenziare soprattutto quegli elementi tipici della disciplina nei suoi caratteri umani e fisico-naturali. I risultati qui presentati costituiscono l'esito di prime analisi, basate su dati ancora provvisori, quali quelli legati ai casi e decessi da CoViD-19, e che consentano di fornire primi spunti per comprendere, in un approccio ecologico, le relazioni tra variabili molto diverse: segnatamente quelle legate a inquinamento atmosferico e consumo di suolo, nonché quelle legate alle caratteristiche strutturali e di mobilità sul territorio. Prime evidenze mostrano, soprattutto per la Pianura Padana e determinate aree del nord Italia, il sospetto di una forte relazione tra il degrado dell'ambiente e la vulnerabilità indotta della popolazione. Il lavoro è in corso per la realizzazione di carte del rischio sanitario, attraverso l'integrazione di strumenti di analisi geografica e di pianificazione, similmente a quanto avviene per altri eventi calamitosi, al fine di poter disporre di una mappatura più aggiornata delle aree vulnerabili e orientare le politiche sanitarie e di contrasto.

Bibliografia

- ANSELIN L., "Local Indicators of Spatial Association—LISA", in *Geographical Analysis*, 27, 1995, pp. 93-115.
- ANSELIN L., *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Dordrecht, The Netherlands, Springer, 1988.
- BEN-ZION Y., COHEN Y., SHNERB N.M., "Modeling epidemics dynamics on heterogeneous networks", in *Journal of Theoretical Biology*, 264, 2010, pp. 197-204.
- BORRUSO G., "A nodal regional analysis of air passenger transport in Europe", in *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, 8, 2013, pp. 377-396.
- BOWEN J.T. JR., LAROE C., "Airline Networks and the International Diffusion of Severe Acute Respiratory Syndrome", in *Geographical Journal*, 172, 2006, pp. 130-144.

- BOZZATO S., "Geografie del CoViD-19", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 5-18.
- BROCKMANN D., HELBING D., "The hidden geometry of complex, network-driven contagion phenomena", in *Science*, 342, 2013, pp. 1337-1342.
- CASTI E., "Geografia a "vele spiegate". Analisi territoriale e mapping riflessivo sul covid-19 in Italia", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 61-83.
- CELATA F., "Come siamo arrivati fin qui: la sanità pubblica in Italia alla prova del coronavirus", in *EyesReg*, 10 (2), 2020.
- CHEN J.C., SCHWARTZ J., "Metabolic syndrome and inflammatory responses to long-term particulate air pollutants", in *Environmental Health Perspectives*, 116 (5), 2008, pp. 612-617.
- CLIFF A., HAGGETT P., "Time, travel and infection", in *British Medical Bulletin*, 69 (1), 2004, pp. 87-99.
- CLIFF A., HAGGETT P., 2006, "A swash-backwash model of the single epidemic wave", in *Journal of Geographical Systems*, 8 (3), 2006, pp. 227-252.
- CLIFF A., HAGGETT P., SMALLMAN-RAYNOR M., *World Atlas of Epidemic Diseases*, London, Arnold, 2004.
- CONTICINI E., FREDIANI B. e CARO D., "Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-Cov-2 lethality in Northern Italy?", in *Environmental Pollution*, 261, 2020.
- CORNA PELLEGRINI G. (a cura di), *Milano, megalopoli padana, valli alpine. Studi sulle reti urbane*, Bologna, Patron editore, 1977.
- CRESSIE N.A., "Change of support and the modifiable areal unit problem", in *Geographical Systems*, 1996, 3, pp. 159-180.
- DE FALCO S., "Scattering geografico nelle aree interne nella diffusione del Covid-19", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 141-154.
- DE VECCHIS G., "Covid-19: esiti della pandemia sulla rimodulazione spazio-temporale", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 97-107.
- DEMATTEIS G. (a cura di), *Il fenomeno urbano in Italia*, Milano, FrancoAngeli, 1992.
- DINI F., ZILLI S., "Riordino territoriale e autonomia differenziata. Una questione da ridiscutere alla luce dell'epidemia", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 155-168.
- Eurostat. *Energy and Transport in Figures*; Eurostat: Luxembourg, Luxembourg, 2019.
- GOODCHILD M., *Spatial Autocorrelation, Concepts and Techniques in Modern Geography*, Norwich, UK, Geo Books, 1986.
- GORBALENYA A.E., BAKER S.C., BARIC R.S. *et al.*, "The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2", in *Nature Microbiology*, 5, 2020, pp. 536-544.
- GOULD P.R., "Spatial Diffusion", in *Association of American Geographers*; Association of American Geographers: Washington, DC, USA, 1969.
- HAGERSTRAND T., *Innovation Diffusion as a Spatial Process*, Chicago, IL, USA; London, UK, The University of Chicago Press, 1967.
- HAGGETT P., CLIFF A., "Modeling diffusion processes", in KEMPF-LEONARD K. (a cura di) *Encyclopaedia of Social Measurement*, vol. 2, Amsterdam, Elsevier, 2005, pp. 709-724.
- HAGGETT P., *Geography, A Global Synthesis*, New York, Pearson, 2001.

- HAGGETT P., CLIFF A., "The Geography of Disease Distributions", in JOHNSTON R.J., WILLIAMS M. (a cura di), *A Century of British Geography*, Oxford, Oxford University Press, 2003, pp. 521-543.
- Koch-Institut, R. *Epidemiologisches Bulletin FSME: Risikogebiete in Deutschland*, Berlin, Germany; 2020.
- LEE J., WONG D.W.S., DAVID W.S., *GIS and Statistical Analysis with ArcView*, Hoboken, NJ, USA, John Wiley, 2000.
- MORRILL R. "Hägerstrand and the 'quantitative revolution': A personal appreciation", in *Progress in Human Geography*, 29, 2005, pp. 333-336.
- MORRILL R.L., "The Shape of Diffusion in Space and Time", in *Economic Geography*, 46, 1970, pp. 259-268.
- MURGANTE B., BORRUSO G., BALLETO G., CASTIGLIA P., DETTORI M., "Geographical analyses of Covid-19's spreading contagion in the challenge of global health risks", in *TeMA*, 2020, pp. 283-304.
- MURGANTE B., BORRUSO G., BALLETO G., CASTIGLIA P., DETTORI M., "Why Italy First? Health, Geographical and Planning Aspects of the COVID-19 Outbreak", in *Sustainability*, 12, 2020.
- O'SULLIVAN D., UNWIN D.J., *Geographic Information Analysis: Second Edition*, Chichester, John Wiley and Sons, 2010.
- OPENSHAW S., *The Modifiable Areal Unit Problem*, Norwick, UK, Geo Books, 1983; ISBN 0860941345.
- PENG L. *et al.*, "The effects of air pollution and meteorological factors on measles cases in Lanzhou, China", in *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 2020, pp. 13524-13533.
- ROTHE C., SCHUNK M., SOTHMANN P., BRETZEL G., FROESCHL G., WALLRAUCH C., ZIMMER T., THIEL V., JANKE C., GUGGEMOS W. *et al.* "Transmission of 2019-NCOV infection from an asymptomatic contact in Germany", in *New England Journal of Medicine*, 382, 2020, pp. 970-971.
- TADINI M., PIVA E., "Impatto del covid-19 su trasporto aereo e turismo: possibili scenari evolutivi", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 565-578.
- TATEM A.J., ROGERS D.J., HAY S.I., "Global Transport Networks and Infectious Disease Spread", in *Advanced Parasitology*, 62, 2006, pp. 293-343.
- TURCO A., "Epistemologia della pandemia", in *Documenti Geografici*, 1, 2020, pp. 19-60.
- TURCO A., "La configuratività territoriale, bene comune", in TURCO A. (a cura di), *Paesaggio, luogo, ambiente. La configuratività territoriale come bene comune*, Milano, Unicopli, 2014, pp. 11-42.
- TURRI E., *Il paesaggio degli uomini. La natura, la cultura, la storia*, Bologna, Zanichelli, 2003.
- TURRI E., *La megalopoli padana*, Venezia, Marsilio, 2000.
- UNWIN D.J., "GIS, spatial analysis and spatial statistics", in *Progress in Human Geography*, 20, 1996, pp. 540-551.

Sitografia

Direct Flights from Wuhan (WUH). Available online: <https://www.flightconnections.com/flights-from-wuhan-wuh> (Ultimo accesso 9 agosto 2020).

- European Centre for Disease Prevention and Control: <https://www.ecdc.europa.eu/en> (Ultimo accesso 9 agosto 2020).
- Istituto Cattaneo. La crescita della mortalità ai tempi del CoViD-19. Analisi di 1.084 comuni italiani. Available online: <https://www.cattaneo.org/wp-content/uploads/2018/03/03-04-01-Covid19-ver-03.pdf> (Ultimo accesso 9 agosto 2020).
- Istituto Nazionale di Statistica. Anziani: le condizioni di salute in Italia e nell'Unione Europea. Anno 2015. Available online: https://www.istat.it/it/files/2017/09/Condizioni_Salute_anziani_anno_2015.pdf (Ultimo accesso 9 agosto 2020).
- Istituto Superiore della Sanità. Report sulle caratteristiche dei pazienti deceduti positivi a COVID-19 in Italia. Il presente report è basato sui dati aggiornati al 20 Marzo 2020. Available online: https://www.iss.it/documents/20126/0/Report+per+COVID_20_3_2019.pdf/f4d20257-53d5-eb89-087e-285e2cadf44f?t=1584727721898 (Ultimo accesso 9 agosto 2020).
- World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 12. Available online: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200201-sitrep-12-ncov.pdf?sfvrsn=273c5d35_2 (Ultimo accesso 9 agosto 2020).
- World Health Organization. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). Available online: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf> (Ultimo accesso 9 agosto 2020).
- WORLD MAPS OF KÖPPEN-GEIGER CLIMATE CLASSIFICATION <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> (Ultimo accesso 9 agosto 2020).

CoViD-19. Spatial diffusion and environmental issues in the Italian case

This research developed from a set of questions concerning the CoViD-19 diffusion in Italy at the beginning of 2020. Such questions concern the causes and ways of diffusion of the epidemics. In this sense, the interdisciplinary research group tackled the question from the geographical, ecological, health, socio-economic and demographic points of view, collecting a wide dataset of data and variables, to be analysed by means of spatial analytical techniques. From such data it was possible to observe regional and sub-regional critical areas in Italy, existing and potential, in terms of CoViD-19 diffusion and distribution.

CoViD-19. Diffusion spatiale et aspects environnementaux du cas italien

Cette recherche se développe à partir de la question de savoir pourquoi l'Italie a été frappée pour la première fois par CoViD-19 après la Chine. Les questions concernent les causes et les modalités de propager l'épidémie. Le groupe de recherche a abordé le sujet d'un point de vue géographique, écologique et sanitaire. Une grande base de données a été créée contenant des données sur le CoViD-19 telles que les décès et les infections, et de nombreuses données environnementales (climat, géographie physique, géographie humaine et économique, démographie, etc.). Le groupe de recherche a étudié le rôle de ces éléments dans la propagation du virus en Italie. Cela a permis de décrire et d'évaluer la criticité de différentes régions d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

