

*A Geomatic Approach for the Management of the Hospitalization of the Patient Affected by Covid-19*

# UN APPROCCIO GEOMATICO PER LA GESTIONE DEL RICOVERO DEL PAZIENTE AFFETTO DA COVID-19

*Michele Mangiameli, Giuseppe Mussumeci*

*DICAr - Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Catania, Viale Andrea Doria, 6, 95125 - Catania, Italia*

*michele.mangiameli@unict.it, giuseppe.mussumeci@unict.it*

## Abstract

During the COVID-19 pandemic period, it is often necessary to hospitalize a patient positive for the virus and in serious health conditions in suitable hospitals. The difficulty in managing these emergencies arises from the fact that it is often not possible to know which is the nearest hospital with beds available for hospitalization of the COVID-19 patients. In this work, we present a GIS application based on a relational database that allows to determine an optimal path for the patient transport from a starting point to the nearest hospital with free places for hospitalization. The developed application reduces the patient's transport time, decreasing the exposure time of the medical staff in the ambulance in contact with the positive patient. The application was developed in the urban area of Catania where hospitals gather a large pool of users and therefore it is essential to have a system that in real-time provides the available beds and thus optimize the distribution of COVID-19 positive patients who need an admission to a hospital.

KEY WORDS: *Covid-19, Spatial Database, GIS Technology, Spatial Analysis.*

## 1. Introduzione

Sono passati quasi due anni da quando le autorità cinesi hanno identificato un nuovo ceppo di coronavirus mortale, SARS-CoV-2 (7 gennaio 2020) che ha causato più di 1.500.000 contagiati e migliaia di morti.

L'intera comunità scientifica mondiale si è resa subito conto che il virus avrebbe presto colpito il mondo intero. Questo virus importante e pericoloso deve essere combattuto da tutti e con tutte le armi a disposizione della scienza e con attività di ricerca che coinvolgono tutti i settori dalla medicina, ingegneria, ecc. [1-9]. Ovviamente, molti lavori scientifici stanno interessando attività di ricerca di medicina allo scopo di affrontare biologicamente

il virus, anche con i suoi cambiamenti e le sue varianti.

Le nuove tecnologie dell'informazione hanno fornito validi strumenti per lo studio e la lotta al virus. Tra tutte, sicuramente, la tecnologia GIS è stata ampiamente utilizzata perché è uno strumento per i sistemi di supporto alle decisioni. Infatti, la tecnologia GIS viene utilizzata in vari campi fornendo applicazioni, che vanno dalla gestione dell'energia, alla gestione del rischio, alla robotica mobile, agli studi socio-economici, alla pianificazione del territorio e altro ancora.

Sono state sviluppate diverse applicazioni GIS per gestire il fenomeno della pandemia da COVID-19, grazie anche alla capacità di gestire grandi quantità di dati anche a carattere spaziale. La tecnologia GIS è stata utilizzata nel-

l'identificazione dei processi di trasmissione dell'epidemia, nella prevenzione e nel controllo dell'epidemia, nell'allocazione spaziale delle risorse utili a combattere il virus ecc. [10]. La Corea del Sud ha fornito il miglior esempio nel controllo dell'epidemia di COVID-19 attraverso applicazioni GIS, implementate al fine di identificare, tracciare e monitorare le persone infette e i luoghi che ogni paziente aveva visitato prima di essere certificato come positivo al virus [11, 12]. Molti studi hanno coinvolto anche lo sviluppo di applicazioni GIS per l'analisi socio-economica, al fine di comprendere come questo aspetto possa contribuire alla diffusione del virus.

Ad esempio, da un'analisi socio-economica effettuata sul territorio iraniano con tecnologia GIS, è emerso che la riduzione della concentrazione di popolazione in alcuni usi del suolo urbano è un modo per prevenire e ridurre la diffusione del COVID-19. I risultati ottenuti utilizzando l'applicazione GIS hanno mostrato che le regioni centrali e orientali di Teheran sono più a rischio e le stazioni di trasporto pubblico e le farmacie erano le più correlate con l'ubicazione dei pazienti COVID-19 [13].

Infine, diversi studi sono stati indirizzati per comprendere le dinamiche spazio-temporali della diffusione del virus COVID-19 per definire i processi decisionali, la pianificazione e l'azione comunitaria per mitigare e chiarire la portata e l'impatto socio-economico della pandemia [14 - 16]. Prendendo spunto dalla bibliografia esistente e dalla volontà di fornire un contributo scientifico per la lotta al virus, è stata sviluppata un'applicazione GIS che permette di ridurre i tempi di ricovero del paziente, fornendo il percorso ottimale, in base ai posti letto destinati ai pazienti COVID-19 disponibili negli ospedali.

L'applicazione è caratterizzata da un'architettura basata principalmente su una struttura dati relazionale raccolti e strutturati all'interno di un RDBMS spaziale (Relational Database Management System) e utilizzabili su piattaforma GIS. Abbiamo testato l'applicazione sviluppata nella città di Catania (Sicilia, Italia), città caratterizzata da presidi ospedalieri presenti sia all'interno del centro urbano, sia in periferia.

### 2. Applicazione GIS

Il trasporto di un paziente positivo al COVID-19 in ospedale deve essere effettuato il più rapidamente possibile, sia per evitare il peggioramento delle condizioni di salute del paziente, sia per ridurre i tempi di esposizione degli operatori sanitari o del personale presente con il paziente. Per ridurre i tempi di percorrenza del paziente è necessario conoscere l'ospedale più vicino e il percorso più breve per raggiungerlo, naturalmente considerando solo i presidi ospedalieri attrezzati con posti letto disponibili destinati ai pazienti positivi al Covid.

A tal fine, è stata sviluppato un approccio geomatico ba-

sato su piattaforma GIS per gestire il trasporto di un paziente COVID-19, utilizzando un database contenente un grafo stradale strutturato in archi e nodi e un tematismo vettoriale contenente tutti i presidi ospedalieri in grado di gestire i pazienti positivi al COVID-19.

L'applicazione GIS, implementabile anche nella versione WEBGIS, permette di scegliere un punto di partenza e fornisce automaticamente il percorso più veloce verso l'ospedale più vicino con posti letto disponibili destinati ai pazienti positivi al Covid. Il calcolo automatico del percorso in ambiente GIS viene effettuato utilizzando gli strumenti di analisi di rete sui dati strutturati e disponibili su piattaforma GIS ed è in grado di considerare diverse variabili, tra cui le interruzioni stradali o le condizioni del traffico, se queste informazioni sono disponibili come dati vettoriali o raster.

Il database relazionale è stato fisicamente realizzato in un Relational Database Management Systems (RDBMS) esterno alla piattaforma GIS [2] in cui sono state implementate le funzioni trigger per scartare automaticamente gli ospedali che hanno finito i posti letto e quindi non essere utilizzati come possibili ospedali di destinazione per il paziente.

Utilizzando l'RDBMS dedicato, è possibile evitare problemi di ridondanza e incoerenza dei dati, problemi di concorrenza per l'accesso ai dati da parte di più utenti simultaneamente, perdita di integrità dei dati, problemi di sicurezza e problemi di efficienza dal punto di vista della ricerca e dell'aggiornamento dei dati.

L'architettura hardware è caratterizzata da un server dove sono allocati l'RDBMS e il database spaziale, mentre tutte le applicazioni GIS (Desktop e Web) possono essere disponibili in dispositivi come tablet, PC, smartphone, ecc... Con questa architettura si sfruttano tutte le caratteristiche del DBMS e del database spaziale e si migliora la velocità di aggiornamento delle modifiche e delle interrogazioni del database, grazie ad una macchina totalmente dedicata alla struttura dati.

Il diagramma della figura (vedi Fig. 1) mostra come e dove deve essere implementata l'architettura proposta, e le relazioni tra i componenti hardware e software utilizzati per l'implementazione dell'applicazione GIS sviluppata.

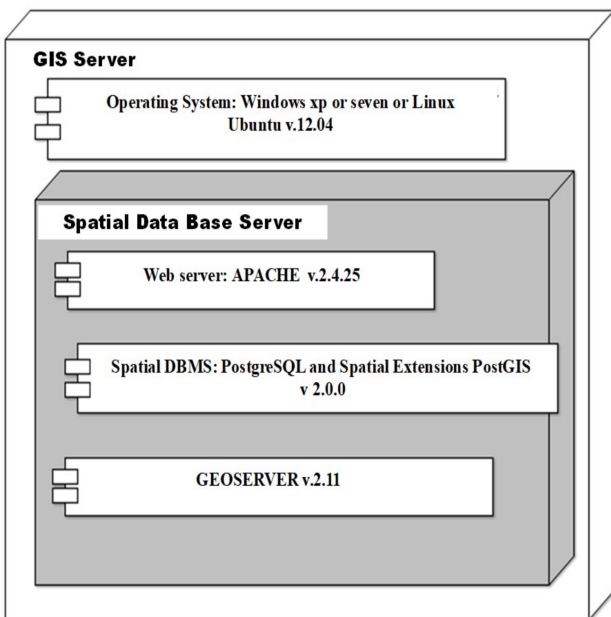
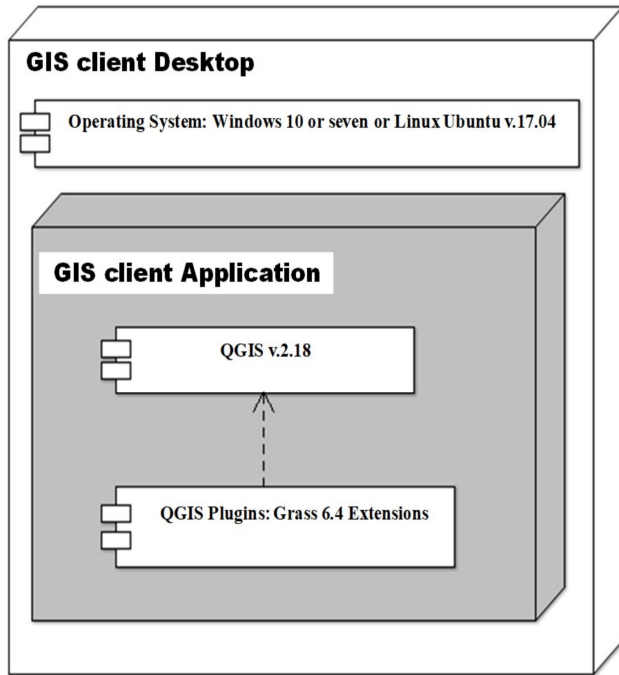


Fig. 1 – Diagramma UML (deployment diagram) dell'applicazione GIS sviluppata. (fonte: propria elaborazione)

### 3. Data Base spaziale implementato

Il database spaziale è stato sviluppato utilizzando una struttura dati relazionale in un RDBMS esterno alla piattaforma GIS. L'uso di questa struttura dati consente di gestire diversi tipi di informazioni geometriche, relazioni spaziali, relazioni topologiche, relazioni direzionali e relazioni di prossimità all'interno dell'applicazione GIS sviluppata.

La progettazione della struttura dati implementata all'interno dell'RDBMS ha seguito quattro fasi principali:

1. Individuazione degli ospedali e delle infrastrutture stradali appartenenti all'area oggetto di studio;
2. Definizione delle relazioni tra i soggetti precedentemente individuati;
3. Progettazione concettuale della struttura dati utilizzando il diagramma di relazione tra entità;
4. Implementazione fisica del database spaziale all'interno dell'RDBMS spaziale.

La struttura del database relazionale spaziale è caratterizzata da tre entità: nodi, archi e ospedali.

La relazione arco-nodo rappresenta il grafico stradale che permette di raggiungere gli ospedali. L'entità arco è caratterizzata dagli attributi *Arc\_ID* e *Name*, rispettivamente chiave primaria e un attributo semplice.

L'entità Nodi è caratterizzata dagli attributi *Nodes\_ID*, *Node\_type* e *Cost*, rispettivamente chiave primaria e attributi semplici. In particolare, l'attributo *Node\_type*, può essere di accesso al presidio ospedaliero, oppure un nodo stradale ossia incrocio, intersezione, ecc.

L'attributo *Cost*, contiene il valore relativo al peso di partecipazione del nodo nell'algoritmo di calcolo del percorso ottimo; maggiore è il peso, minore sarà la probabilità che il nodo partecipi al calcolo.

L'entità ospedali è caratterizzata dagli attributi *ID\_Ospedale*, *Name* e *Numero di letti disponibili*. Questa entità include una funzione di trigger che assegna un costo elevato al nodo di accesso corrispondente all'ospedale che ha finito i posti letto. In questo modo il nodo di accesso viene scartato dall'algoritmo di ricerca del percorso, fornendo all'utente un'altra destinazione ospedaliera con posti letto disponibili (vedi Fig. 2).

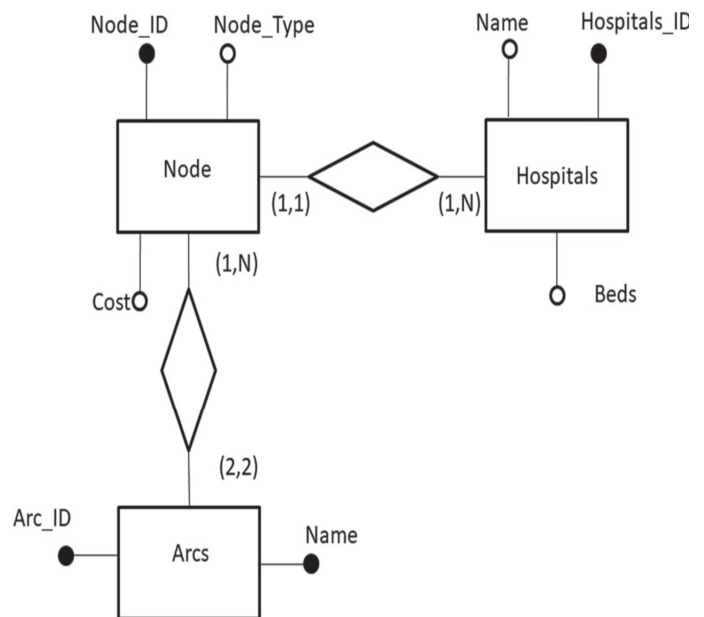


Fig. 2 – Diagramma Entità-Relazioni. (fonte: propria elaborazione)

## 4. Caso studio: la città di Catania

L'applicazione GIS sviluppata è stata testata nell'area metropolitana di Catania (Sicilia, Italia), dove sono ubicati sei principali ospedali pubblici.

Come supporto cartografico raster abbiamo scelto un'ortofoto georeferenziata, utilizzando il sistema di riferimento identificato univocamente con EPSG 6708 e gestito in ambiente GIS come servizio WMS tramite il collegamento web al "Sistema Informativo Territoriale Regionale - Regione Siciliana" (vedi Fig. 3).

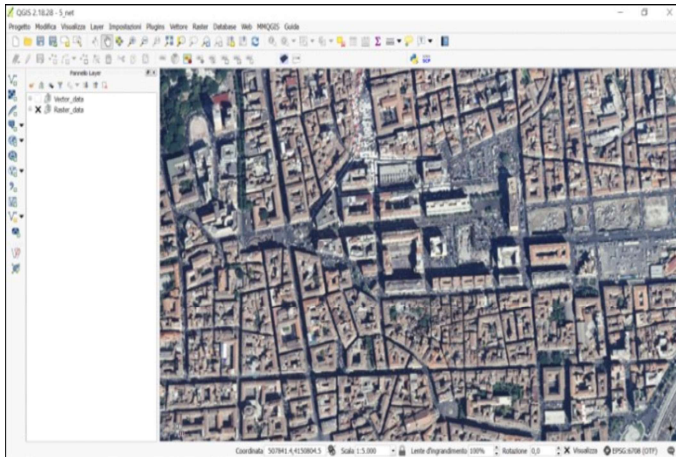


Fig.3 – Supporto cartografico georiferito.  
(fonte: propria elaborazione)

Utilizzando questa base cartografica, gli archi e i nodi sono stati digitalizzati e gestiti in ambiente GIS come tematismi vettoriali, rispettivamente con geometria lineare e puntuale. Questi strati informativi costituiscono il grafo stradale mostrato nella figura (vedi Fig. 4).

Il layer nodi contiene sia i nodi appartenenti al grafo stradale che i nodi di accesso agli ospedali, cioè i punti di partenza e di arrivo utilizzati dall'algoritmo di ricerca del percorso ottimo. Inoltre, si è ottimizzata anche la rappresentazione grafica di questo layer in modo da differenziare le due tipologie di nodi (vedi Fig. 5).

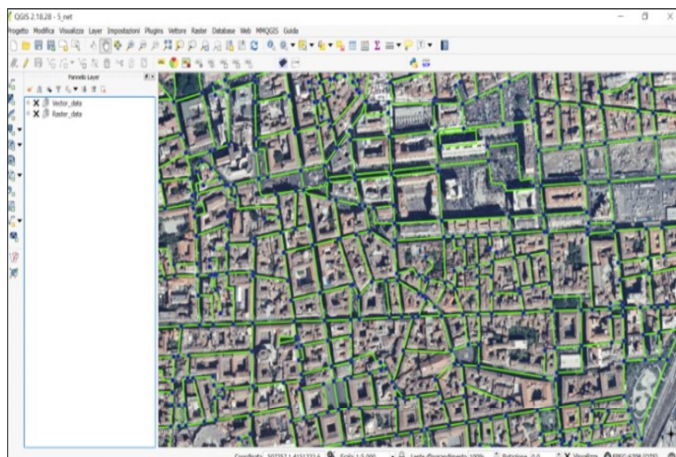


Fig.4 – Grafo stradale della città di Catania.  
(fonte: propria elaborazione)

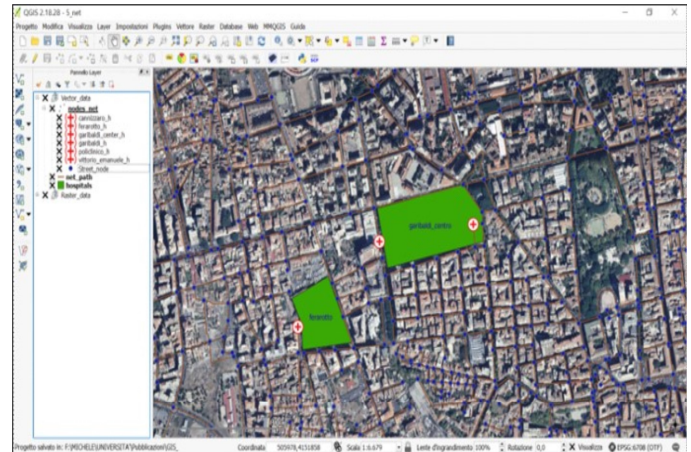


Fig.5 – Nodi di accesso agli ospedali.  
(fonte: propria elaborazione)

Come ultimo step sono stati digitalizzati tutti gli ospedali della città metropolitana di Catania con posti letto COVID-19.

L'applicazione GIS sviluppata seleziona automaticamente tutti i nodi di accesso agli ospedali con il costo minore (ovvero con più posti letto disponibili) e successivamente viene calcolato il percorso più breve tra il punto di partenza ed il nodo selezionato al minor costo. A parità di costi si sceglie il punto più vicino al nodo di partenza (vedi Fig. 6).

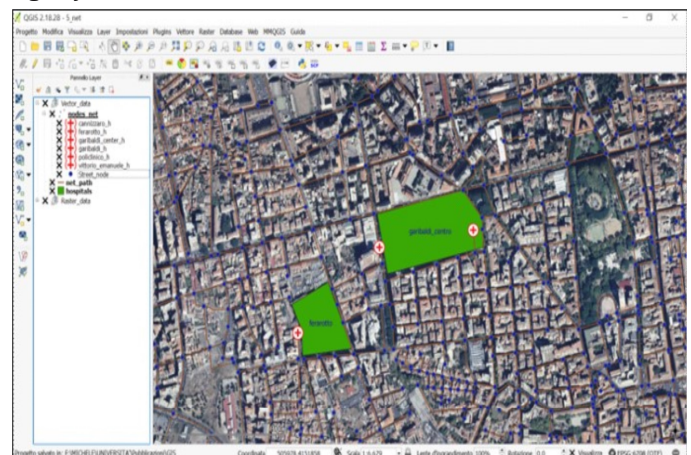


Fig.6 – In rosso il miglior percorso calcolato automaticamente tra un nodo di partenza e l'ospedale più vicino con posti letto covid disponibili.  
(fonte: propria elaborazione)

## 5. Conclusioni

In questo lavoro presentiamo un'applicazione GIS in grado di fornire un valido strumento per la lotta alla pandemia di COVID-19.

La metodologia che abbiamo proposto sfrutta un database spaziale relazionale a supporto della piattaforma GIS per determinare il percorso ottimale tra un punto di partenza e un ospedale idoneo ad ospitare un paziente COVID-19. Il percorso è ottimizzato perché sono esclusi tutti gli ospedali con posti letto esauriti oppure distanti dal punto di partenza che corrisponde alla posizione in cui

viene prelevato il paziente positivo al covid. Questo risultato riduce i tempi di viaggio verso l'ospedale del paziente COVID-19 ed i tempi di esposizione del personale medico.

Il grande vantaggio dell'applicazione sviluppata è il costo zero, la velocità di calcolo del percorso più breve e l'espandibilità della piattaforma sul web per l'accesso all'applicazione a più utenti contemporaneamente.

Il limite dell'applicazione è l'accesso diretto al sistema informatico degli ospedali, che dovrebbe aggiornare la banca dati con il numero effettivo di posti letto disponibili in tempo reale. Pertanto, il nostro approccio può essere implementato nelle procedure di governance se le aziende sanitarie regionali possono fornire le informazioni relative ai posti letto disponibili attraverso portali web dedicati.

## Bibliografia

- [1] Famoso D., Mangiameli M., Roccaro P., Mussumeci G., Vagliasindi F. G. A.: *Asbestiform fibers in the Biancavilla site of national interest (Sicily, Italy): Review of environmental data via GIS platforms*. In: Rev. Environ. Sci. Bio Technol., n. 11, pp. 417 - 427, 2012
- [2] Mangiameli M., Mussumeci G.: *Gis approach for preventive evaluation of roads loss of efficiency in hydrogeological emergencies, International Archives of the Photogrammetry*. In: Remote Sens. Spat. Inf. Sci. ISPRS Arch., 2013
- [3] Mangiameli M., Mussumeci G., Roccaro P., Vagliasindi F. G. A.: *Free and open-source GIS technologies for the management of woody biomass*. In: Appl. Geomat., n. 11, pp. 309 - 315, 2019
- [4] Troisi R., Castaldo P.: *Technical and organizational challenges in the risk management of road infrastructures*. In: Journal of Risk Research, 2022
- [5] Gennaro A., Mangiameli M., Muscato G., Mussumeci G., Sgarlata M.: *Geomatic techniques for surveying and mapping an archaeological site*. In: IEEE International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage [Cassino 2018], MetroArchaeo 2018 - Proceedings, pp. 277 - 281, 2018
- [6] Mangiameli M., Mussumeci G., Cappello A.: *Forest Fire Spreading Using Free and Open-Source GIS Technologies*. In: Geomatics, vol. 1(1), pp. 50 - 64, 2021
- [7] Mangiameli M., Mussumeci G., Oliva S.: *Free and Open Source GIS Technologies for the Assessment of Tsunami Hazards in the Ionic Sea*. In: Lecture Notes in Computer Science, vol. 11622 LNCS, pp. 216 - 224, 2019
- [8] Ganci G., Cappello A., Bilotta G., Corradino C., Mangiameli M., Mussumeci G., Del Negro C.: *3D lava flow mapping in volcanic areas using multispectral and stereo optical satellite data*. In: AIP Conference Proceedings, n. 2293, p. 300003, 2020
- [9] Mangiameli M., Candiano A., Fargione G., Gennaro A., Mussumeci G.: *Multispectral satellite imagery processing to recognize the archaeological features: The NW part of Mount Etna (Sicily, Italy)*. In: Mathematical Methods in the Applied Sciences, vol. 43(13), pp. 7640 - 7646, 2020
- [10] Gatta G., Bitelli G.: *A HGIS for the study of waterways: the case of Bologna as ancient city of waters*. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 949, International Conference Florence Heri-tech: the Future of Heritage Science and Technologies, 14-16 oct 2020, Online Edition, 2020
- [11] Korea's Fight against COVID-19 (2020). Maggiori informazioni su: [http://www.mofa.go.kr/eng/brd/m\\_5674/view.do?seq=320048](http://www.mofa.go.kr/eng/brd/m_5674/view.do?seq=320048)
- [12] Rezaei M., Nouri A. A., Park G. S., Kim D. H.: *Application of geographic information system in monitoring and detecting the COVID-19 outbreak*. In: Iran J Public Health, vol. 49, suppl.1, pp.114 - 116, 2020
- [13] Razavi-Termeh S. V., Sadeghi-Niaraki A., Farhangi F., Choi S.: *COVID-19 Risk Mapping with Considering Socio-Economic Criteria Using Machine Learning Algorithms*. In: International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 18(18), p. 9657, 2021
- [14] Franch-Pardo I., Napoletano B. M., Rosete-Verges F., Billa L.: *Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review*. In: Science of The Total Environment, vol. 739, 15 October 2020, p. 140033, 2020
- [15] Troisi R., Di Nauta P., Picicocchi P.: *Private corruption: An integrated organizational model*. In: European Management Review, 2021
- [16] Troisi R., Alfano G.: *Is regional emergency management key to containing COVID-19? A comparison between the regional Italian models of Emilia-Romagna and Veneto*. In: International Journal of Public Sector Management, 2021

