

*The Italian Second-Level Airport System:
a Multi-Criterial Spatial Approach for the
Streamlining of the Network*

IL SISTEMA AEROPORTUALE ITALIANO DI SECONDO LIVELLO: UN APPROCCIO MULTICRITERIALE SPAZIALE PER LA RAZIONALIZZAZIONE DEL NETWORK*

Maria Rosaria Guarini, Anthea Chiovitti

Dipartimento di Architettura e Progetto, Sapienza Università di Roma, Via Flaminia 359, 00196, Italia

mariarosaria.guarini@uniroma1.it; anthea.chiovitti@uniroma1.it

Abstract

General Aviation or second-level flights all over the world and in Italy are increasing in parallel with the main-level air traffic growth. They represent a valid opportunity of transport for short-medium-distance journeys for different type of business and tourist demand instead of rail and road transports. According to the national and international airport forecasts of growth, the paper illustrates a multi-criterial spatial evaluation approach (full-integrated type) for the streamlining of the second-level airport network. The methodology is geared towards formulating strategies for the development of the system based on geographical/spatial analysis. Different evaluation levels aim to verify: the suitability of airport services and infrastructure and the attractiveness of airport hubs given the territorial facilities. Through the application of the procedure, the existing hubs can be classified considering intrinsic resources and territorial services and the new hubs, possibly required for the construction of an efficient second-level network can be located considering the concentration and localization of existing ones.

KEY WORDS: *Multi-Criteria Decision Analysis; Multi-Criteria Spatial Decision Analysis; Geographic Information System; Civil Aviation Infrastructure; Minor Airport.*

1. Introduzione

Dagli anni '90 del secolo scorso, a seguito della crescita generalizzata dei flussi di trasporto aereo nel mondo [1, 2], in Europa [3, 4] e in Italia [5] negli scali appartenenti ai network aeroportuali principali di ciascuno stato e mondiali (Livello Primario che interessa un ampio numero di passeggeri e di beni trasportati su voli commerciali e charter di lungo e medio raggio), si è progressivamente determinata anche una diffusione del trasporto aereo ad uso "individuale" [6] ovvero non commerciale - non di linea o "point to point" - (Livello Secondario, o minore, che interessa un ristretto numero di passeggeri e di beni trasportati su voli privati di corto raggio). Il trasporto aereo non commerciale opera su ve-

livoli di *General Aviation* [7, 8] e su aeroporti costituenti un network infrastrutturale secondario, che rappresenta, ormai, una valida alternativa al trasporto su ferro e su gomma per viaggi di medio e breve raggio (100-500 km) per un target di fruitori costituito da turisti e viaggiatori di tipo business.

Tale fenomeno ha assunto una particolare rilevanza dagli anni 2000, negli USA [9] e in molti paesi europei, quali Inghilterra, Francia e Germania [8, 10], anche in relazione all'introduzione nel mercato dell'aviazione civile generale di nuove tipologie di velivoli: *advanced ultra-light aircraft* e *very light jet*. Questi velivoli, per la loro ridotta dimensione, hanno caratteristiche e performance molto più dinamiche rispetto a quelle dei velivoli di aviazione civile che operano negli scali aeroportuali di livello primario:

* Il paper nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei due autori e pertanto è attribuibile in egual misura ad entrambe.

presentano facilità nel decollo e nell'atterraggio; non richiedono l'uso di operazioni di *handling* aeroportuale; non necessitano in molti casi di torre di controllo; sono di facile movimentazione, etc., oltre ad avere consumi di carburante estremamente bassi.

Il sistema aeroportuale minore italiano (costituito da 51 aeroporti), non è omogeneamente diffuso nel territorio nazionale e, sebbene potenzialmente atto a fornire un servizio di rapida interconnessione fra zone produttive e/o turistiche, è a tutt'oggi (2018) scarsamente collegato ai sistemi di trasporto intermodali internazionali e locali [10]; inoltre, soprattutto nelle aree centro meridionali, non ha ancora avuto un significativo accrescimento.

Attraverso adeguate operazioni di potenziamento e di razionalizzazione, gli aeroporti minori Italiani potrebbero assumere un ruolo di importanza strategica sia all'interno del sistema infrastrutturale nazionale, svolgendo un ruolo di supporto al network degli aeroporti principali, sia in funzione dello sviluppo delle vocazioni territoriali, specie nelle aree marginali del paese. I fattori a favore dello sviluppo di detto sistema possono essere sintetizzati come segue [10, 11]: a) capacità di assorbire alcuni flussi di traffico, favorendo lo snellimento delle operazioni sugli aeroporti principali e garantendo il soddisfacimento della domanda di traffico per segmenti specifici; b) rispondere ad una domanda di traffico del tipo individuale, business, air-taxi service, deviandolo, almeno in parte, da quello operato su reti di trasporto tradizionali, come strade e ferrovie; c) rispondere ad una domanda di attività parallele al trasporto passeggeri e merci: i) "non aviation" che includono l'offerta di una ampia e differenziata gamma di servizi commerciali e turistici destinati alle diverse tipologie di utenti; ii) "aviation" quali lavoro aereo, difesa civile, attività di ricognizione, perlustrazione, addestramento, formazione e supporto alla protezione civile, soccorso aereo, monitoraggio e protezione di porzioni estese di territorio e di emergenza, non solo nelle situazioni di calamità naturali, ma soprattutto per la lotta agli incendi, sempre più frequenti nel nostro paese, e più in generale, a tutte quelle forme di controllo del territorio, finalizzate a verificare ed impedire fenomeni di alterazione o aggressione dello stesso.

Sulla base dei profili di sviluppo del traffico aereo a livello europeo e nazionale [2, 6], il presente paper rappresenta un approfondimento di una ricerca in corso, articolata in differenti fasi, volta a costruire un sistema di valutazione di tipo multicriteriale integrato all'uso dei *Geographical Information Systems* [12, 14] a supporto della: i) formulazione di strategie per lo sviluppo e la razionalizzazione del sistema aeroportuale minore italiano; ii) identificazione della corretta localizzazione per i nuovi poli che potrebbero risultare necessari al fine di costruire un efficiente ed omogeneo sistema di trasporto aereo di secondo livello (così detto autostrada del cielo o *Highway in the Sky*) sul territorio nazionale, tenendo in considerazione una

molteplicità di aspetti.

La metodologia è costruita considerando un set di elementi della valutazione (di natura multi-criteriale e spaziale), scelti al fine di valutare l'idoneità dei servizi e delle infrastrutture aeroportuali (status quo), e l'attrattività degli aeroporti minori attualmente presenti sul territorio italiano, anche tenendo in considerazione i servizi di tipo territoriale presenti nelle rispettive aree di gravitazione. Nel dettaglio, il set degli elementi della valutazione fa riferimento a: i) caratteristiche infrastrutturali intrinseche agli aeroporti (piste, vie di rullaggio e piazzali); ii) caratteristiche infrastrutturali estrinseche agli aeroporti (servizi aeroportuali, servizi di supporto al traffico aereo, servizi ai passeggeri, connettività intermodale); iii) vocazione produttiva (aziende e mercato del lavoro), vocazione turistica (numero di musei statali e relativi visitatori) e dotazione infrastrutturale delle reti di trasporto (dotazione di infrastrutture stradali, ferroviarie e di trasporto pubblico) degli ambiti territoriali di riferimento di ciascuno degli aeroporti minori; iv) processi in atto, di trasformazione territoriale e urbana (previsioni e attuazioni di piano dall'area vasta alla scala locale), in modo da garantire l'integrazione e la sovrapposizione dei sistemi (insediativo, ambientale, della mobilità); v) aspetti economico-finanziari (rapporto costi e benefici per la realizzazione, l'adeguamento e/o la trasformazione di poli aeroportuali).

Nelle precedenti fasi della ricerca è stato definito dapprima un approccio metodologico del tipo *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA) con l'obiettivo di valutare l'idoneità dei servizi aeroportuali e delle dotazioni infrastrutturali (status quo) di ciascuno dei 51 aeroporti costituenti attualmente il network aeroportuale di livello secondario [15]. Successivamente è stata effettuata una georeferenziazione dei dati relativi ai servizi aeroportuali e delle dotazioni infrastrutturali, grazie all'uso dei *Geographic Information System* (GIS), attraverso un'integrazione tra MCDA e GIS di tipo *tight coupling* [16], tale da definire una metodologia di tipo *Multi-Criteria Spatial Decision Analysis* (MCSDA) [17, 20].

Il presente paper illustra un approfondimento dell'approccio metodologico di combinazione tra MCDA e GIS, di tipo *full integration*, che consente al contempo di svolgere in modo dinamico e multidimensionale le analisi e le valutazioni relative allo status quo degli aeroporti minori italiani, e di valutare l'attrattività di ciascun polo aeroportuale in funzione dei servizi territoriali e delle rispettive aree di gravitazione.

L'upgrade metodologico è stato predisposto al fine di implementare e gestire in maniera automatica una maggior quantità dei dati di tipo spaziale e territoriale rappresentativi del problema decisionale in esame.

Un tale tipo di upgrade costituisce inoltre una base essenziale per lo sviluppo di successive fasi della ricerca.

Il presente paper, nel prosieguo, è articolato come segue: definizione della metodologia di valutazione (paragrafo 2),

struttura della ricerca (paragrafo 2.1), configurazione, organizzazione ed elaborazione spaziale degli elementi della valutazione (paragrafo 2.2), definizione della procedura (paragrafo 2.3); risultati (paragrafo 3); conclusioni (paragrafo 4).

2. Metodologia di valutazione

2.1 Struttura della ricerca

Come precedentemente evidenziato, nel presente paper è illustrata una metodologia di valutazione costruita con un approccio di tipo full integration tra *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) - che consente di considerare ed elaborare un articolato set di dati di natura qualitativa e qualitativa - e *Spatial Decision Support Systems* (SDSS) che permette di implementare una analisi di tipo spaziale/territoriale [12, 15, 20], sfruttando il potenziale delle *Geographical Information Sciences* (GISciences) [21]. La metodologia proposta può essere definita *Multi-Criteria Spatial Decision Analysis* (MCSDA) in quanto contempla: i) la costruzione di un database nel quale sono inputati un significativo numero di informazioni eterogenee che possono essere facilmente elaborate e aggiornate (oltre che ulteriormente integrate), riferite sia alle caratteristiche che connotano ciascun polo del sistema nazionale delle infrastrutture aeroportuali minori, sia al contesto territoriale in cui essi si collocano; ii) la formazione di Sistemi Informativi Territoriali (SIT) inerenti il network degli aeroporti minori, utili per l'organizzazione e la consultazione dei dati, implementati nel database, e necessari per elaborare le valutazioni a supporto delle decisioni; iii) la combinazione di dati geografici (*map criteria*) con indicatori di valutazione (preferenze e incertezze degli *stakeholder*) [22] per ottenere informazioni utili per i *decision-makers*.

La metodologia di valutazione proposta è stata costruita al fine di considerare e valutare le potenzialità dei poli aeroportuali minori (alternative della valutazione) attualmente presenti nel territorio italiano, sia individualmente, sia congiuntamente (come insieme dei poli che costituiscono un network di secondo livello) considerando:

(i) l'adeguatezza (status quo) delle dotazioni infrastrutturali e dei servizi aeroportuali presenti in ciascun aeroporto minore; in particolare, l'identificazione e la valutazione delle caratteristiche infrastrutturali intrinseche (A): dotazioni aeroportuali (Criteri, Cj.A; Sotto-criteri, Sj.A; Indicatori, Ij.A) e delle caratteristiche infrastrutturali estrinseche (B): servizi aeroportuali (Criteri, Cj.B; Sotto-criteri, Sj.B; Indicatori, Ij.B), presenti in ciascun polo consente di esprimere un livello di giudizio (JL) che permette di definire una classificazione delle alternative A.n secondo: una "classificazione strutturale" (JLA); una "classifica-

zione dei servizi" (JLB); una "classificazione generale delle risorse" (JLC) combinando JLA e JLB;

(ii) l'attrattività dettata dai servizi territoriali presenti nelle aree di gravitazione degli aeroporti, grazie all'identificazione di parametri, atti a definire la vocazione territoriale dell'ambito territoriale gravitante su ciascun polo in base alla [D], dotazione produttiva, dotazione turistica e dotazione di infrastrutture di trasporto su ferro e su gomma (Criteri, Cj.D; Sotto-criteri, Sj.D; Indicatori, Ij.D), al fine di ottenere una "classificazione per attrattività territoriale" (JLD), ed una "classificazione del potenziale aeroportuale" (JLE) basata sulla combinazione delle precedenti fasi di giudizio JLC and JLD.

La metodologia di valutazione così definita richiede di implementare un vasto *range* di dati, specialmente di tipo spaziale. Per questo il modello di valutazione del tipo *Multi-Criteria Spatial Decision Analysis* (MCSDA) proposto è basato sulla costruzione di un database [22].

Grazie all'uso di software, un database consente di creare, gestire e ricercare dati che aiutano a redigere una valutazione attraverso la costruzione di un foglio di calcolo definito in campi e colonne. Usando il database, il modello di valutazione deve essere implementato usando la gestione e il *processing* dei dati (di tipo multi-criteri) attraverso strumenti (software) per la georeferenziazione e l'analisi spaziale.

Questi strumenti processano il database utilizzando funzioni di *overlay* topografico, query spaziali, analisi dei network, isocrone e mappe di concentrazione. Tra i differenti *packages* disponibili, è stato scelto il software *open-source* QuantumGIS per rendere possibile l'implementazione senza avere bisogno di una licenza proprietaria.

Al fine di condurre l'analisi attraverso il MCSDA, riferendosi a ciascun aeroporto (alternative della valutazione) operativamente (vedi Fig. 1), si è proceduto a:

(i) costruire un database — costituito considerando alcuni dei dati utilizzati nelle precedenti fasi di sviluppo della ricerca [15] o definendo (ex novo) un set di elementi della valutazione — composto da: Criteri (Cj.n), Sotto-criteri (Sj.n), Indicatori (Ij.n), Parametri di dotazione specifica i(Ij.n) atti a definire i livelli di valutazione JLA, JLB, JLC, JLD e JLE;

(ii) Organizzare ed elaborare spazialmente i parametri di dotazione specifica, relativi a ciascuna alternativa, utilizzando il DBMS relativo ai livelli di valutazione JLA, JLB, JLC, JLD e JLE;

(iii) interrogare i dati spaziali sulla base di una procedura di valutazione di tipo multicriteriale (MCSDA) al fine di attribuire un classamento specifico relativamente ai livelli di valutazione JLA, JLB, JLC, JLD e JLE.

L'implementazione dei diversi livelli di valutazione [JL] permette di evidenziare quali parti del territorio nazionale ri-

sultano “coperte” dai poli aeroportuali minori attualmente [2018] esistenti e quali invece sono “scoperte”, nonché di identificare gli ambiti territoriali (tra quelli considerati “scoperti”) nei quali potrebbero essere individuate le aree

dove realizzare quei nuovi poli aeroportuali di secondo livello che potrebbero consentire al network di raggiungere una copertura nazionale.

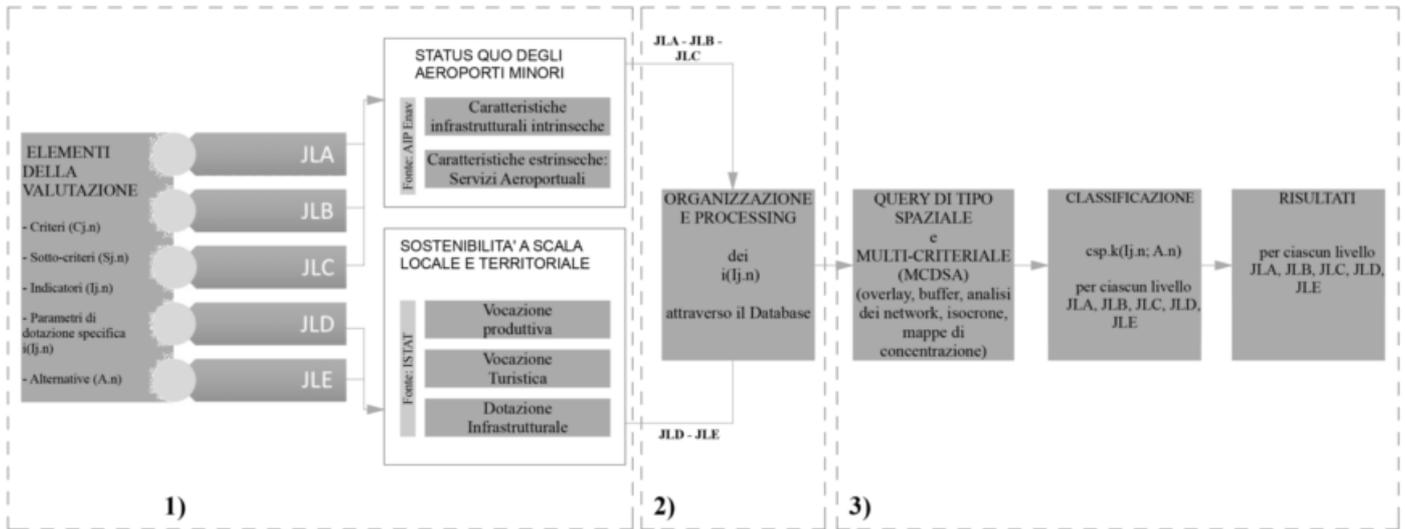


Fig.1 - Struttura del modello (fonte: elaborazione propria)

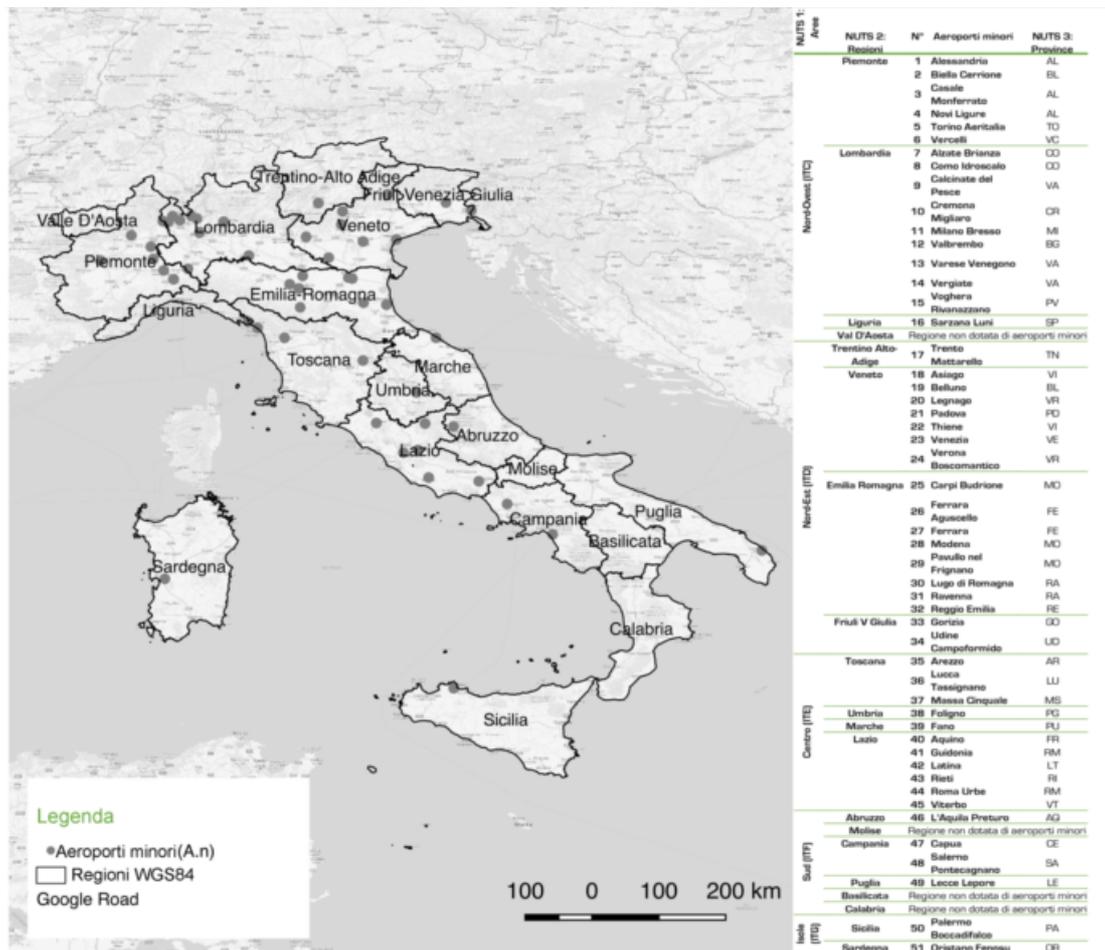


Fig.2 - Geo-localizzazione degli aeroporti minori italiani (fonte: elaborazione propria su fonte Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo (ENAV))

Mobilità, Accessibilità, Infrastrutture

Criteria (CD.n)	Sotto-criteri (SD.n)	Indicatori (ID.n)	Parametri di dotazione specifica (ID.n) per alternative (A.n)	Parametri delle risorse potenziali (ppd.n)	Fonti		
Attrattività territoriale (JLD)	Vocazione turistica	ID.1.1	Numero di visitatori (Domanda) negli istituti di antichità e musei d'arte (per provincia)	(ID.1.1;A.n)	\	ISTAT, Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo, Patrimonio Culturale, Indicatori n. 076_P, census 2015, http://www.istat.it/it/archivio/16777	
		ID.1.2	Numero di edifici (Offerta) appartenenti a istituti di antichità e musei d'arte (by province)	(ID.1.2;A.n)	ppd.n(ID.1.2;A.n)	ISTAT, Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo, Patrimonio Culturale, Indicatori n. 077_P, census 2015 http://www.istat.it/it/archivio/16777	
		ID.1.3	Quantità di strutture turistiche (Offerta) (hotel e strutture simili e altre short-stay accommodation, aree camping e aree attrezzate per caravan e camper) nella area Isocrona di 15 minutes	(ID.1.3;A.n)	ppd.n(ID.1.3;A.n)	Elaborazione in Structure Query Language da dati ISTAT, Turismo Ateco 2007, Indicatori: numero totale di strutture ricettive, 2015, http://dati.istat.it/?lang=it&SubSessionId=39dcba24c5-4a0e-b637-2b85f16a9f52&themetreeid=200	
		ID.1.4	Quantità di strutture turistiche (Offerta) (hotel e strutture simili e altre short-stay accommodation, aree camping e aree attrezzate per caravan e camper) nella area Isocrona di 30 minutes	(ID.1.4;A.n)	ppd.n(ID.1.4;A.n)	\	
	Dotazione di infrastrutture di trasporto su ferro e su gomma	SD.2	ID.2.1	Area servita da infrastrutture stradali: Interrogazione spaziale in Structure Query Language - Area Isocrona in 15 minuti	(ID.2.1;A.n)	ppd.n(ID.4;A.n)	Elaborazione in Structure Query Language da dati ISTAT, Basi Territoriali e variabili di censo, pubblicazione 2011, http://www.istat.it/it/archivio/104317
			ID.2.2	Area servita da infrastrutture stradali: Interrogazione spaziale in Structure Query Language - Area Isocrona in 30 minuti	(ID.2.2;A.n)	ppd.n(ID.5;A.n)	Elaborazione in Structure Query Language da dati ISTAT, Basi Territoriali e variabili di censo, pubblicazione 2011, http://www.istat.it/it/archivio/104317
			ID.2.3	Numero di passeggeri (Domanda) che usano trasporto pubblico nei capoluoghi di provincia	(ID.2.3;A.n)	ppd.n(ID.6;A.n)	ISTAT, Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo, Città, data n. 650_C, census 2015, http://www.istat.it/it/archivio/16777
			ID.2.4	Reti di trasporto pubblico urbano nei capoluoghi di provincia	(ID.2.4;A.n)	ppd.n(ID.2.4;A.n)	ISTAT, Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo, Città, indicator n.138_C, censimento 2013, http://www.istat.it/it/archivio/16777
	Vocazione produttiva	SD.3	ID.3.1	Numero di imprese (nelle aree municipali)	(ID.3.1;A.n)	ppd.n(ID.3.1;A.n)	ISTAT e Infocamere Movimprese, Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo, Demografia d'impresa dati n. 138_P, censimento 2016, http://www.istat.it/it/archivio/16777
			ID.3.2	Partecipazione della popolazione nel mercato del lavoro (nelle aree municipali)	(ID.3.2;A.n)	ppd.n(ID.3.2;A.n)	ISTAT e Infocamere Movimprese, Indicatori territoriali per le politiche di sviluppo, Lavoro, indicatori n. 108_P, censimento 2015, http://www.istat.it/it/archivio/16777

Tab. 1 - Elementi della valutazione per JLD

2.2 Connotazione, organizzazione ed elaborazione spaziale degli elementi della valutazione per JLA, JLB, JLC, JLD e JLE

I 51 aeroporti minori italiani (alternative A.n della valutazione) sono stati geo-referenziati nel sistema di coordinate *World Geodetic System* (WGS84) (vedi Fig.2), utilizzando le informazioni fornite dall'Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo (ENAV) [23], secondo la nomenclatura delle Unità Territoriali Statistiche (NUTS). A seguito della geo-referenziazione è stato creato uno shape-file che consente di archiviare dati (e.g. localizzazione, forma, attributi).

Nel livello JLA è contemplato un set di criteri (Cj.A), sottocriteri (Sj.A), indicatori (Ij.A) e parametri di dotazione specifica (i(Ij.A), definito in precedenti fasi della ricerca [15], atto a descrivere la qualità delle dotazioni infrastrutturali intrinseche di ciascun aeroporto (piste, vie di rullaggio e piazzali).

Nel livello JLB è incluso un set di criteri (Cj.B), sottocriteri (Sj.B), indicatori (Ij.B), parametri di dotazione specifica (i(Ij.B)) e parametri rappresentativi delle risorse potenziali (ppd.n) definito per descrivere la disponibilità di servizi aeroportuali per ciascuna alternativa A.n.

Il livello JLB fa riferimento a dati in parte già individuati/utilizzati nelle precedenti fasi della ricerca (concernenti: caratteristiche infrastrutturali estrinseche agli aeroporti, quali servizi aeroportuali, servizi di supporto al traffico aereo, servizi ai passeggeri, connettività intermodale) [15], in parte integrati o combinati con nuovi Cj.B, Sj.B, Ij.B e i(Ij.B) concernenti la connettività intermodale e la prossimità di: i) hub (o aeroporti principali di medio/lungo raggio); ii) interporti; iii) porti; iv) stazioni ferroviarie.

Questi nuovi elementi della valutazione sono stati definiti considerando: I) L'area geografica di prossimità di ciascun polo, definita considerando un ambito territoriale circostante all'aeroporto compreso nell'area Buffer di 50 Km (attraverso la query spaziale in Sql Buffer); II) la consultazione e inclusione di dati (2017) tratti da *Aeronautical Information Publication (AIP)* [23], atti a definire, per ciascuna alternativa A.n analizzata, il livello dei servizi aeroportuali; III) la scelta di dati statistici tratti dalla banca dati dell'*Istituto nazionale di Statistica (ISTAT)*, che permettono di definire il livello di servizi connesso alla connettività intermodale [...].

Gli elementi della valutazione per JLC derivano dagli output ottenuti nei livelli JLA e JLB secondo la procedura de-

scritta al paragrafo 2.3.

Per il livello JLD è stato utilizzato il set di Cj.D, Sj.D, Ij.D, i(Ij.D) e di parametri rappresentativi delle risorse potenziali (ppd.n) scelti al fine di connotare l'attrattività territoriale dei poli aeroportuali minori (alternative A.n) (vedi Tab. 1), cioè descrittivi delle vocazioni delle aree di gravitazione circostanti ciascun aeroporto e costruito sulla base di: i) la definizione di aree geografiche di analisi, identificate considerando come ambito territoriale di prossimità di ciascun aeroporto minore quello circoscrivibile in un tempo medio di percorrenza su gomma misurato sui due livelli: a. 15 minuti; b. 30 minuti; ii) la scelta di dati statistici presenti nella banca dati dell'*Istituto nazionale di Statistica (ISTAT)*, che permettono di definire i profili territoriali con riferimento a: i) vocazione produttiva; ii) vocazione turistica; iii) dotazione di infrastrutture di trasporto su ferro e su gomma nei territori prossimi agli aeroporti minori sui quali questi esercitano potenziale attrazione.

I parametri di dotazione specifica i(Ij.n) identificati per ciascuna alternativa A.n, per ciascun livello di valutazione, sono stati organizzati in un foglio di Excel (includendo anche i dati già utilizzati nelle precedenti fasi della ricerca). Il foglio di calcolo è stato compilato ponendo le A.n in riga (campi orizzontali) e i Cj.n e Sj.n in colonna. I parametri di dotazione specifica i(Ij.n) sono stati inseriti come cella di incontro tra righe e colonne. Salvando il file Excel nel formato *comma separated value (.csv)* è possibile importare il database così costruito nel software QuantumGIS (QGIS).

2.3 Procedura MCSDA per JLA, JLB, JLC, JLD e JLE

Per ciascun livello di valutazione, la procedura MCSDA può essere implementata attraverso la definizione di query spaziali sul database formulate in *structure query language (Sql)*, secondo la metodologia esposta di seguito.

A partire dai procedimenti definiti nelle precedenti fasi della ricerca [16]¹ al fine di determinare, per ciascuna alternativa A.n, il livello di qualità e quantità delle dotazioni intrinseche ed estrinseche, si è proceduto per:

- JLA ad implementare in Sql le funzioni di classamento specifico f(csp.n) volte ad ottenere una "*classificazione specifica*" geo-referenziata csp.n(A.n) per ciascun indicatore I.A.n. Il set di csp.n(A.n) è stato aggregato in due sublivelli (JLA1 e JLA2) attraverso funzioni di classamento sintetico f(csnt.n) al fine di ottenere una "*classificazione sintetica*" csnt.n (An) descrittiva di tre classi di idoneità infrastrutturale di tipo intrinseco (cui è stato attribuito un punteggio) rispetto agli indicatori I.A.n: Suitable (idoneo)=1; Adaptable (trasformabile)=0,5; Not Suitable (non idoneo)=0, utili al fine di implementare i successivi step procedurali (descritti nel proseguo);
- JLB a definire delle soglie di soddisfazione (ssd.n), che

insieme alla costruzione di funzioni di classamento per valori f(cdm.n), implementate in Sql, permettono di ottenere una "*classificazione per valori*" cdm.n(A.n) geo-referenziata per ciascun indicatore (Ij.B) descrittiva di cinque livelli (a ciascuno dei quali corrisponde un punteggio): Very High (Molto alto)=1; High (Alto)=0,75; Average (Medio)=0,5; Low (Basso)=0,25; Very Low (Molto Basso)=0 di disponibilità di servizi aeroportuali. Ciascun cdm.n(A.n) è stato poi implementato operando la pesatura e la standardizzazione delle funzioni di classamento per valori f(cdm.n) al fine di ottenere una "*classificazione delle dotazioni di servizio aeroportuale*" cdmn.n(A.n) secondo cinque livelli (pesati e standardizzati): Very High (Molto alto), High (Alto), Average (Medio), Low (Basso), Very Low (Molto Basso);

- JLC ad implementare in Sql una "*classificazione generale delle dotazioni*" dei poli aeroportuali JLCw: attribuendo un peso pari a 2 ai punteggi ottenuti nella "*classificazione sintetica*" csnt.n (An) del livello JLA [rappresentativo della importanza delle dotazioni infrastrutturali intrinseche (JLA) presenti in ciascuna delle Alternative A.n], e un peso pari a 1 ai punteggi che qualificano le dotazioni di servizio aeroportuale (JLB) cdmn.n(A.n), si ottiene una "*classificazione sintetica delle dotazioni infrastrutturali pesata*" JLAw, e una "*classificazione delle dotazioni di servizio aeroportuale pesata*" JLBw. Sommando i valori ottenuti, per ciascuna Alternativa A.n, in JLAw e JLBw si ottiene una "*classificazione generale delle dotazioni*" dei poli aeroportuali JLCw.

Per i successivi step procedurali si è fatto ricorso alla *Univariate Data Analysis (UDA)* [24] che consente di definire, per un dato range di variabili numeriche, i percentili (St.n) compresi tra 0 e 1, al fine di definire variabili categoriche (valori di intervallo) significative rispetto al range di variabili numeriche analizzato. A partire dalla qualificazione degli output (variabili numeriche) ottenibili in ciascuno dei livelli di valutazione JLCw, JLD e JLE si può procedere a determinare un numero di variabili categoriche assunte come soglie di attrattività (ssd.n) per la qualificazione dei poli aeroportuali minori italiani (alternative A.n) nei diversi livelli di valutazione. In particolare, per la classificazione degli output ottenibili in JLCw, attraverso la UDA possono essere definiti 4 valori percentili (St.1=1; St.2=0,6; St.3=0,3; St.4=0,0) al fine di definire 3 intervalli di valori (variabili categoriche o soglie di attrattività *ssd.n*).

Tali *ssd.n* possono essere considerate nella costruzione delle funzioni di classamento per valori f(cdm.n) al fine di ottenere le Classi *Cl.Cn(A.n)* per il livello JLCw.

Per JLD (vedi Tab. 2), possono essere definite le *ssd.n* attraverso la considerazione di 6 valori percentili (St.1=1; St.2=0,8; St.3=0,6; St.4=0,4; St.5=0,2; St.6=0,0) per ciascun range di parametri di dotazione specifica i(ID.n) relativi a ciascun indicatore ID.n, al fine di definire 5 intervalli di attrattività per la classificazione dei parametri di

¹ Si rimanda per l'illustrazione in dettaglio dei procedimenti utilizzati per definire le funzioni di classamento in JLA, JLB e JLC, che nel presente paper sono descritti sinteticamente, al testo citato come reference.

dotazione specifica $i(ID.n)$ (output di JLD) per le alternative $A.n$. Tali $ssd.n$ per ciascun indicatore $ID.n$ possono essere considerate nella costruzione delle funzioni di classamento per valori $f(cdm.n)$ al fine di ottenere la "classificazione per valori con punteggi" $cdm.n(A.n)$ per ciascuna alternativa $A.n$. Ciascun $cdm.n(A.n)$ può essere inoltre analizzato attraverso delle funzioni di classamento sintetico $f(csnt.n)$, al fine di ottenere una "classificazione dei servizi territoriali" $csnt.n(A.n)$ per ciascuna alternativa $A.n$ (vedi Tab. 2);

Sommando i valori che qualificano ciascun polo aeroportuale nella "classificazione generale delle dotazioni" JLCw e nella "classificazione dei servizi territoriali" $csnt.n(A.n)$, si può determinare il range di variabili numeriche relativo al livello JLE per ognuna delle alternative $A.n$. Analogamente ai precedenti step procedurali descritti per JLCw e JLD, a partire dalle variabili numeriche ottenute per JLE, possono essere definite le $ssd.n$ attraverso la UDA considerando i 4 valori percentili: $St.1=1$; $St.2=0,6$; $St.3=0,3$; $St.4=0,0$ al fine di definire 3 intervalli (variabili categoriche) di attrattività. A partire dalle $ssd.n$ si può procedere nella costruzione delle funzioni di classamento per valori $f(cdm.n)$ al fine di ottenere la classificazione finale nelle Classi $Cl.En(A.n)$.

3. Risultati

La metodologia è stata costruita al fine di ottenere risultati utili a qualificare e quantificare i parametri sui quali può essere basata in Italia la costruzione di un network aeroportuale di secondo livello, omogeneamente diffuso sul territorio nazionale, in relazione ai profili e ai bisogni territoriali che caratterizzano le diverse aree del paese. L'implementazione della procedura proposta per ciascun livello di valutazione può consentire di ottenere output con riferimento a: i) l'idoneità delle infrastrutture aeroportuali e dei servizi, utile a valutare lo status quo del sistema degli aeroporti minori italiani (attraverso l'implementazione di JLA, JLB e JLC); ii) l'attrattività dei poli aeroportuali dati i servizi territoriali rintracciati nelle aree circostanti (aree di gravitazione dei poli aeroportuali), utile a fornire una classificazione del potenziale di attrattività aeroportuale di ciascuna alternativa $A.n$ (attraverso l'implementazione di JLD e JLE). In particolare, i risultati del livello JLE rappresentano la sintesi dei risultati ottenuti da ciascuno degli elementi della valutazione considerati nelle precedenti fasi della procedura proposta.

4. Conclusioni e ulteriori ricerche

La metodologia di valutazione proposta per successive livelli di analisi e valutazione permette di restituire il quadro delle performance attribuibili ai poli del Sistema infrastrutturale aeroportuale minore italiano.

Gli output ottenibili possono fornire una base per ulteriori successive fasi da implementare attraverso l'uso di una Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) eventualmente anche integrata con, ad esempio, Fuzzy Analysis, Strategic Planning Tools (SPT), Tecniche di Partecipazione (PT), Analisi Economico-Finanziaria, Analisi del Rischio e Sensibilità [25-29], da costruire per valutare: i) la quantità di investimenti necessari sia di tipo socio-economico che di tipo finanziario, nonché le ripercussioni ambientali associate alla identificazione/costruzione dei poli aeroportuali nell'area geografica di riferimento (secondo programmi di riqualificazione/sviluppo dei poli esistenti e/o pianificando la costruzione di nuove infrastrutture); ii) l'inclusione del network di secondo livello nel progressivo processo di trasformazione urbana e insediativa (pianificando/programmando lo sviluppo del network dalla macro-area al livello locale); iii) la sostenibilità delle operazioni necessarie all'upgrade/estensione del network e/o alla ricollocazione (sulla base delle aree "scoperte" individuate) e dunque la struttura del network sulla base del tempo necessario a garantire che esso ottenga piena operatività.

Il modello di valutazione proposto può essere integrato con ulteriori elementi della valutazione, parte dei quali può essere sostituita con elementi aggiuntivi e/o supplementari descrittivi di ulteriori profili che possono caratterizzare le alternative $A.n$.

Criteri (CD.n)	Sotto-criteri (SD.n)	Indicatori (ID.n)	Parametri di dotazione specifica (i(ID.n) per alternative (A.n)	Parametri delle risorse potenziali (ppd.n)	Soglie di attrattività (ssd.n)	Funzioni di classamento per valori (f[cdm.n])	Classificazione dei valori con punteggi (cdm.n)	JLD Funzione di classamento sintetica (f[csnt.n])	JLD Classificazione per servizi territoriali (csnt.n)			
Attrattività Territoriale (JLD)	SD.1	ID.1.1	i(ID.1.1;An)	ppd.n(ID.1.1;A.n)	St.1(ID.1.1)	if	ssd(ID.1.1;St.6) <ppd.n(ID.1.1;A.n) sssd(ID.1.1;St.5)	=	cdm.n(ID.1.1;A.n)=0.2	If 0.00 < M[fni(cdm.n)] ≤ 0.20;	csnt.n = VL	
						St.2(ID.1.1)	if	ssd(ID.1.1;St.5) <ppd.n(ID.1.1;A.n) sssd(ID.1.1;St.4)	=			cdm.n(ID.1.1;A.n)=0.4
						St.3(ID.1.1)	if	ssd(ID.1.1;St.4) <ppd.n(ID.1.1;A.n) sssd(ID.1.1;St.3)	=			cdm.n(ID.1.1;A.n)=0.6
						St.4(ID.1.1)	if	ssd(ID.1.1;St.3) <ppd.n(ID.1.1;A.n) sssd(ID.1.1;St.2)	=			cdm.n(ID.1.1;A.n)=0.8
						St.5(ID.1.1)	if	ssd(ID.1.1;St.2) <ppd.n(ID.1.1;A.n) sssd(ID.1.1;St.1)	=			cdm.n(ID.1.1;A.n)=1
	SD.2	ID.2.1	i(ID.2.1;An)	ppd.n(ID.2.1;A.n)	St.1(ID.2.1)	if	ssd(ID.2.1;St.6) <ppd.n(ID.2.1;A.n) sssd(ID.2.1;St.5)	=	cdm.n(ID.2.1;A.n)=0.2	If 0.20 < M[fni(cdm.n)] ≤ 0.40;	csnt.n = L	
						St.2(ID.2.1)	if	ssd(ID.2.1;St.5)-ppd.n(ID.2.1;A.n) sssd(ID.2.1;St.4)	=			cdm.n(ID.2.1;A.n)=0.4
						St.3(ID.2.1)	if	ssd(ID.2.1;St.4) <ppd.n(ID.2.1;A.n) sssd(ID.2.1;St.3)	=			cdm.n(ID.2.1;A.n)=0.6
						St.4(ID.2.1)	if	ssd(ID.2.1;St.3) <ppd.n(ID.2.1;A.n) sssd(ID.2.1;St.2)	=			cdm.n(ID.2.1;A.n)=0.8
						St.5(ID.2.1)	if	ssd(ID.2.1;St.2) <ppd.n(ID.2.1;A.n) sssd(ID.2.1;St.1)	=			cdm.n(ID.2.1;A.n)=1
	SD.3	ID.3.1	i(ID.3.1;An)	ppd.n(ID.3.1;A.n)	St.1(ID.3.1)	if	ssd(ID.3.1;St.6) <ppd.n(ID.3.1;A.n) sssd(ID.3.1;St.5)	=	cdm.n(ID.3.1;A.n)=0.2	If 0.80 < M[fni(cdm.n)] ≤ 1.00;	csnt.n = VH	
						St.2(ID.3.1)	if	ssd(ID.3.1;St.5) <ppd.n(ID.3.1;A.n) sssd(ID.3.1;St.4)	=			cdm.n(ID.3.1;A.n)=0.4
						St.3(ID.3.1)	if	ssd(ID.3.1;St.4) <ppd.n(ID.3.1;A.n) sssd(ID.3.1;St.3)	=			cdm.n(ID.3.1;A.n)=0.6
						St.4(ID.3.1)	if	ssd(ID.3.1;St.3)-ppd.n(ID.3.1;A.n) sssd(ID.3.1;St.2)	=			cdm.n(ID.3.1;A.n)=0.8
						St.5(ID.3.1)	if	ssd(ID.3.1;St.2) <ppd.n(ID.3.1;A.n) sssd(ID.3.1;St.1)	=			cdm.n(ID.3.1;A.n)=1

Legenda: VL = Very Low (Molto Basso); L = Low (Basso); A = Average (Medio); H = High (Alto); VH = Very High (Molto Alto); M = Media Aritmetica

Tab. 2 - Procedura di implementazione della MCSDA per JLD

Bibliografia

[1] International Civil Aviation Organization (ICAO): ICAO Annexes Collection, Annex 14, Aerodromes - Aerodrome Design and Operations, Vol. I Seventh Edition, July 2016. Informazioni su: <http://cockpitdata.com/Software/ICAO%20Annex%202014%20Volume%201%20%207th%20Edition%202016>

[2] Airbus: Global Market Forecast, Growing Horizons 2017-2036. Informazioni su: http://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus_Global_Market_Forecast_2017-2036_Growing_Horizons_full_book.pdf

[3] Eurocontrol: September 2017. Monthly Network Operations Report Overview. Informazioni su: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/nm-monthly-network-operations-report-overview-september-2017.pdf>

[4] Eurocontrol: September 2017. Monthly Network Operations Report Analysis. Informazioni su: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/nm-monthly-network-operations-report-analysis-september-2017.pdf>

[5] Ente Nazionale Aviazione civile (ENAC): Traffico commerciale complessivo internazionale e nazionale Servizi di linea e charter (arrivi + partenze) 1 gennaio – 31 marzo 2017. Informazioni su: http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/N22169819/Dati_di_Traffico_2017_1_trimestre.pdf

[6] Becheri, E., Biella, A., *L'intermediazione della filiera del turismo organizzato*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), Italy, 2013

[7] International Civil Aviation Organization (ICAO): Doc 9060/5, Reference Manual on the ICAO Statistics Programme, Fifth Edition 2013, Informazioni su: https://www.icao.int/MID/Documents/2014/Aviation%20Data%20Analyses%20Seminar/9060_Manual%20on%20Statistics_en.pdf

[8] Aircraft Owners and Pilots Association (A.O.P.A.): General Aviation Statistics. Informazioni su: <https://www.aopa.org/about/general-aviation-statistics>

[9] Aircraft Owners and Pilots Association (A.O.P.A.): The Wide Wings and Rotors of General Aviation, The Industry's Economic and Community Impact on the United States. Informazioni su: https://www.aopa.org/-/media/files/aopa/home/news/all-news/2015/gama_whitepaper_final_mres.pdf?la=en

[10] Criscuolo, C., Verbale dell'incontro tra Ente Nazionale Aviazione civile and Italian Light Airport Network (i.LAN), Presentazione di uno studio finalizzato alla codifica di una nuova tipologia di infrastruttura di volo intermedia fra "Avio-superficie" e "Aeroporto", giugno 2007, Roma. Informazioni su: <https://www.yumpu.com/it/document/view/51080454/scarica-il-verbale-della-riunione-filas>

[11] Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti (MIT), Ente nazionale per l'aviazione civile (ENAC): Piano nazionale degli aeroporti, febbraio 2012. Informazioni su: https://www.enac.gov.it/La_Comunicazione/Pubblicazioni/info-1156450804.html

[12] Chen J., *GIS-based multi-criteria analysis for land use suitability assessment in City of Regina*. In: Environmental Systems Research 3(13), doi: 10.1186/2193-2697-3-20, 2014

- [13] Malczewski J., GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), pp. 703-726, doi: 10.1080/13658810600661508, 2006
- [14] Liu Y., Lv X., Qin X., Guo H., Yu Y., Wang J., Mao G., *An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe*. In: *Land Use Urban Plan*, 82(4), pp. 233-246. doi: 10.1016/j.landurbplan.2007.02.012, 2007
- [15] Guarini M. R., Battisti F., Buccarini C., Chiovitti A., *A model of multicriteria Analysis to develop Italy's Minor Air-port System*. In: O. Gervasi, et al. (Eds): *15th International Conference on Computational Science And Its Applications - ICCSA 2015*. LNCS, vol. 9157, pp. 162-177. Springer, Heidelberg, doi: 10.1007/978-3-319-21470-2_12, 2015
- [16] Guarini M. R., Locurcio M., Battisti F., *GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for the "Highway in the Sky"*. In: O. Gervasi, et al. (Eds): *15th International Conference on Computational Science And Its Applications - ICCSA 2015*. LNCS, vol. 9157, pp. 146-161. Springer, Heidelberg, doi: 10.1007/978-3-319-21470-2_11, 2015
- [17] Sharifi M., Boerboom L., Shamsudin K., Veeramuthu L., *Spatial Multiple Criteria Decision Analysis in Integrated Planning for Public Transport and Land use Development Study in Klang Valley, Malaysia*. In: *Proceedings of the ISPRS Vienna 2006 Symposium*, Technical Commission II, ISPRS Archives, Vol. XXXVI (2), pp. 85-91, 2006
- [18] Joerin F., Thériault M., Musy A., *Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment*. In: *International Journal of Geographical Information Science* 15(2), pp. 153-174. doi: 10.1080/13658810051030487, 2010
- [19] Sugumaran R., DeGroot J., *Spatial Decision Support Systems, Principles and Practices*. CRC Press Taylor and Francis Group, LLC, 2011
- [20] Boroushaki S., Malczewski J., *Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making*. In: *Computers & Geosciences* 36(3), pp. 302-312. doi: 10.1016/j.cageo.2009.05.011, 2010
- [21] Roche S., *Geographic Information Science I: Why does a smart city need to be spatially enabled?*. In: *Progress in Human Geography* 38(5), pp. 703-711. doi:10.1177/0309132513517365, 2014
- [22] Connolly T. M., Begg C. E., *Database systems: a practical approach to design, implementation, and management*. In: (4th edition) Addison-Wesley, 2005
- [23] Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo (ENAV): *Aeronautic Information Publication*. Informazioni su: <https://www.enav.it/sites/private/it/ServiziOnline/AD.html>
- [24] Verzani J., *Using R for Introductory Statistics*. CRC Press, 2014
- [25] Della Spina L., Lorè I., Scivo R., Viglianisi A.: *An Integrated Assessment Approach as a Decision Support System for Urban Planning and Urban Regeneration Policies*. In: *Buildings* 7, 85. doi: 10.3390/buildings7040085, 2017
- [26] Nesticò A., Sica F., *The sustainability of urban renewal projects: a model for economic multi-criteria analysis*. In: *Journal of Property Investment and Finance* 35(4), pp. 397-409. doi: 10.1108/JPIF-01-2017-0003, 2017
- [27] Guarini M. R., Chiovitti A., Battisti F., Morano P.: *An Integrated Approach for the Assessment of Urban Transformation Proposals in Historic and Consolidated Tissues*. In: Borruso G. et al. (eds.): *17th International Conference on Computational Science and Its Applications - ICCSA 2017*, LNCS, vol. 10406, pp. 562-574. doi: 10.1007/978-3-319-62398-6_40, 2017
- [28] Morano P., Tajani F., Locurcio M., *GIS application and econometric analysis for the verification of the financial feasibility of roof-top wind turbines in the city of Bari (Italy)*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70, 999-1010. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.005, 2017
- [29] Del Giudice V., De Paola P., Forte F., Manganelli B.: *Real Estate Appraisals with Bayesian Approach and Markov Chain Hybrid Monte Carlo Method: An Application to a Central Urban Area of Naples*. In: *Sustainability* 9(11), 2138. doi: 10.3390/su9112138, 2017

