

## Quantificazione del Biotope Area Factor (BAF) con procedure automatiche di analisi della cartografia esistente

Vittorio Casella (\*), Marica Franzini (\*\*), Giuseppe Girone (\*\*\*), Paolo Marchese (\*\*\*\*)

(\*) DICAR – Università di Pavia, Via Ferrata 3, tel 0382 985417, fax 0382 985419, email vittorio.casella@unipv.it

(\*\*) DICAR – Università di Pavia, Via Ferrata 3, tel 0382 985713, fax 0382 985419, email marica.franzini@unipv.it

(\*\*\*) DICAR – Università di Pavia, Via Ferrata 3, tel 0382 985416, fax 0382 985419, email giuseppe.girone@unipv.it

(\*\*\*\*) DICAR – Università di Pavia, Via Ferrata 3, tel 0382 985416, fax 0382 985419, email paolo.marchese@unipv.it

### Sommario

Scopo principale dell'articolo è presentare una modalità automatica per il calcolo del *Biotope Area Factor* (BAF).

Gli autori anzitutto danno una illustrazione sintetica dell'indice BAF e della sua utilità nella pianificazione urbanistica. Successivamente descrivono la procedura automatica per la stima del BAF che è stata sviluppata. Essa è basata sull'uso della cartografia numerica esistente e sulla applicazione di metodi di analisi abbastanza complessi; al momento la procedura è scritta in ambiente Matlab.

Infine la metodologia proposta viene validata rigorosamente per comparazione con aree test rilevate manualmente.

### Abstract

The main scope of the paper is presenting a way to calculate *Biotope Area Factor* (BAF), which is automatic and based on existing digital cartography and GIS technology.

First authors give a short introduction to BAF and to its usefulness in urban planning. Then they illustrate the automatic BAF estimation procedure, which is based on the use of the existing digital map and on a specifically developed geoprocessing procedure, which is coded in the Matlab environment, at the moment.

Finally, authors rigorously assess the developed procedure by means of manually surveyed test areas and discuss results and further steps of the research.

### Introduzione

Il *biotope area factor* (BAF) è un indice proposto originariamente per la città di Berlino e successivamente applicato a diverse altre città. Esso misura in sostanza la permeabilità complessiva di una certa zona, proprietà che è utile per la valutazione e la pianificazione di molteplici aspetti di tipo ambientale e urbanistico. La definizione del BAF è basata su abachi che associano alle varie tipologie di pavimentazione e copertura (erba, autobloccanti, asfalto; coppi, tetto coperto con erba) un coefficiente compreso fra 1 (permeabilità completa) e 0 (permeabilità nulla). La quantificazione del BAF viene normalmente effettuata in modo manuale, creando mappe tematiche specifiche, a partire da cartografia tecnica, ortofoto, immagini oblique, visite sul campo.

Il presente articolo descrive una modalità di calcolo del BAF automatica e basata sull'uso della cartografia vettoriale a grande scala. La cartografia considerata è conforme alle specifiche della Regione Lombardia (20, 21) e dispone di un articolato sistema di codifica che consente di distinguere le varie tipologie previste dagli abachi BAF. La metodologia presentata è basata anzitutto sulla costruzione di un secondo abaco che associa alle categorie della cartografia i corrispondenti codici e coefficienti BAF. Inoltre è stato sviluppato un articolato pacchetto software, codificato in Matlab, capace di gestire il complesso database in input (costituito da decine di oggetti

in formato shape), associare ad ogni entità il codice BAF e gestire numerose tecnicità: poligoni multipli, con buchi o sovrapposti.

La metodologia è stata applicata alla cartografia del Comune di Pavia (17). L'accuratezza della metodologia proposta è stata quantificata in modo rigoroso per confronto con dettagliate mappe BAF costruite a mano per un numero di aree test. La procedura implementata assume come struttura della cartografia quella prevista dalla regione Lombardia e ciò la rende estremamente portabile.

### Il Biotope Area Factor (BAF)

Anche se non è l'argomento della nota (e gli autori non sono urbanisti né ingegneri idraulici), si ritiene utile fornire alcune sintetiche indicazioni sull'indice BAF, in modo che i lettori possano comprendere lo scopo per cui le procedure che verranno descritte sono state implementate. Si rimanda all'articolo (8) e alla sua bibliografia per maggiori dettagli.

Si può dire che il BAF misuri la capacità di un'area di *rimettere in circolo* l'acqua piovana che vi cade prima che essa scorra e si raccolga nei corsi d'acqua e nei sistemi di drenaggio urbano. Il meccanismo con cui tale rimessa in circolo avviene è basato sull'assorbimento dell'acqua da parte del terreno e la successiva percolazione verso strati profondi del terreno oppure la re-immissione nell'atmosfera ad opera delle piante attraverso il meccanismo della evapotraspirazione.

Una delle conseguenze negative della costruzione di edifici e strade è la crescente impermeabilizzazione del suolo. A causa di essa l'acqua piovana, invece di essere assorbita in buona parte dal terreno, scorre rapidamente verso i corsi d'acqua e i sistemi di drenaggio e ciò ha diverse ulteriori conseguenze. In occasione di fenomeni meteorologici violenti, la quantità d'acqua che i sistemi di smaltimento dovrebbero scaricare supera la loro capacità e ciò provoca esondazioni, allagamenti, smottamenti e colate di fango. In condizioni ordinarie, si ritiene che la diminuita permeabilità del suolo abbia come conseguenza l'aumento della temperatura dell'aria (in quanto viene meno l'azione rinfrescante dell'evapotraspirazione), l'incremento dei moti convettivi dell'aria e il trasporto in atmosfera dell'inquinamento generato al livello del suolo. Infine una zona impermeabile è evidentemente poco amica della flora e della fauna.

Si comprende insomma come mai urbanisti e amministratori siano interessati a strumenti che consentano di quantificare in modo rigoroso gli aspetti legati alla permeabilità del suolo di una certa area (un isolato, un quartiere o una città). Per questo motivo diverse città hanno definito indici relativi a tale aspetto come supporto per una efficace pianificazione. Il BAF è stato introdotto nel 1994 dalla città di Berlino (16) ed è basato su un abaco che è reperibile in rete ed è in parte esemplificato dalla Figura 1. Esso considera 9 tipologie di superficie e associa loro un coefficiente che va da 1 (totale permeabilità) a 0 (impermeabilità assoluta). Data una certa zona, composta da varie tipologie, essa deve essere scomposta in poligoni omogenei rispetto al coefficiente BAF; per ognuno di questi si deve calcolare la *ecologically effective surface area* (EESA), data dal prodotto fra l'area intesa in senso geometrico e il coefficiente; il BAF complessivo della zona si ottiene dal quoziente della somma delle varie EESA con l'area totale e prende valore fra 0 e 1

$$BAF = \frac{\sum_{i=1}^n A_i w_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [1]$$

Si potrebbe discutere se un indice definito per la città di Berlino sia applicabile in Lombardia e in particolare nella città di Pavia. Anzitutto le realtà di Berlino e Pavia sono confrontabili per quanto riguarda le tipologie costruttive e gli aspetti climatici; inoltre l'abaco di Figura 1 è piuttosto schematico e basato essenzialmente sulla quantificazione della permeabilità delle superfici: non si vede quali significative variazioni possano occorrere nella sua applicazione per Berlino e per Pavia. Infine, si cerca un indice relativo, più che assoluto, in modo che sia possibile confrontare due quartieri della stessa città oppure la medesima zona prima e dopo un intervento urbanistico.

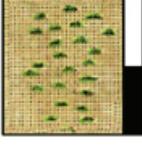
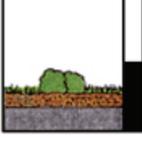
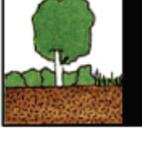
Weighting factor / per m <sup>2</sup> of surface type	Description of surface types
 <p data-bbox="461 302 546 396">Sealed surfaces <b>0.0</b></p>	<p data-bbox="683 302 1022 396">Surface is impermeable to air and water and has no plant growth (e.g., concrete, asphalt, slabs with a solid subbase)</p>
 <p data-bbox="461 465 610 560">Partially sealed surfaces <b>0.3</b></p>	<p data-bbox="683 444 1022 589">Surface is permeable to water and air; as a rule, no plant growth (e.g., clinker brick, mosaic paving, slabs with a sand or gravel subbase)</p>
 <p data-bbox="461 635 571 729">Semi-open surfaces <b>0.5</b></p>	<p data-bbox="683 613 1022 758">Surface is permeable to water and air; infiltration; plant growth (e.g., gravel with grass coverage, wood-block paving, honeycomb brick with grass)</p>
 <p data-bbox="461 775 619 906">Surfaces with vegetation, unconnected to soil below <b>0.5</b></p>	<p data-bbox="683 798 1022 893">Surfaces with vegetation on cellar covers or underground garages with less than 80 cm of soil covering</p>
 <p data-bbox="461 944 619 1075">Surfaces with vegetation, unconnected to soil below <b>0.7</b></p>	<p data-bbox="683 960 1022 1055">Surfaces with vegetation that have no connection to soil below but with more than 80 cm of soil covering</p>
 <p data-bbox="461 1113 628 1244">Surfaces with vegetation, connected to soil below <b>1.0</b></p>	<p data-bbox="683 1141 1022 1212">Vegetation connected to soil below, available for development of flora and fauna</p>

Figura 1 - Abaco originario del BAF.

### Metodologie tradizionali per il calcolo del BAF

Come esemplificato nei documenti prodotti all'epoca per la città di Berlino (16) e come mostrato anche in (8), la stima del BAF viene effettuata normalmente per aree abbastanza ristrette e in modo sostanzialmente manuale. Si usa come sfondo la cartografia esistente o qualche altra fonte informativa disponibile (ortofoto o carta raster ad esempio); si realizza con un qualunque CAD una mappa tematica costituita da poligoni omogenei, cioè poligoni riferiti a porzioni di territorio aventi lo stesso coefficiente BAF; si classificano i poligoni in base all'abaco BAF. Per realizzare questa scomposizione e classificazione si può ricorrere a varie fonti: ortofoto, servizi web come Google Street Map o le immagini oblique di Bing Maps, sopralluoghi. Infine si calcolano le aree dei poligoni corrispondenti ai vari coefficienti BAF e si applica la [1].

Si tratta evidentemente di procedure manuali, lente e soggette a un ampio grado di discrezionalità. Vi è l'esigenza da parte dei pianificatori di disporre di una metodologia rapida, oggettiva e applicabile ad ampie zone.

Per questo motivo il Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia ha intrapreso un programma denominato M4URBAN (*maps for urban analytics*) il cui scopo è esplorare le possibilità offerte dall'uso non convenzionale e innovativo della cartografia numerica a supporto della *urban analytics*. Con tale espressione intendiamo, in estrema sintesi, la capacità di rendere misurabili aspetti della città che normalmente non lo sono. Il pacchetto che qui si descrive è denominato M4BAF.

**Struttura della cartografia secondo gli standard della Regione Lombardia**

La sperimentazione che verrà descritta nella nota è stata svolta sulla cartografia della città di Pavia. E' molto interessante il fatto che tale cartografia sia conforme allo standard definito dalla Regione Lombardia, con la conseguenza che la stessa procedura usata per Pavia potrebbe essere applicata senza modifiche a circa il 50% per Comuni lombardi.

Pavia è una città media avente una superficie di 63 kmq e circa 72 000 abitanti. Il Comune dispone di una cartografia numerica la cui base fu realizzata negli anni '80 in forma analogica alla scala 1:2000. La cartografia è stata successivamente digitalizzata e progressivamente aggiornata ed adattata agli standard regionali. La mappa attuale può essere visualizzata on-line (25) e scaricata (11). Per la ricerca attuale la mappa è stata fornita direttamente dagli Uffici comunali in formato ESRI Shape.

La cartografia è costituita da 74 layer di tipo puntuale, lineare o areale. Le tabelle hanno una chiave primaria di 6 caratteri derivante dalla concatenazione di 3 sotto-chiavi, ognuna di 2 caratteri, strutturate ad albero; esse sono memorizzate nei campi STRATO, TEMA e CLASSE. I primi due caratteri possono prendere i valori riportati in Tabella 1.

00	Informazioni geodetiche, cartografiche, fotogrammetriche
01	Viabilità, mobilità e trasporti
02	Immobili ed antropizzazioni
03	Gestione viabilità ed indirizzi
04	Idrografia
05	Orografia
06	Vegetazione
07	Reti tecnologiche
08	Località significative e scritte cartografiche
09	Ambiti amministrativi

Tabella 1 - Valori ammessi per il primo livello (i primi due caratteri) della chiave principale.

Anche se è impossibile descrivere l'intera struttura della cartografia, per la quale si rimanda alla bibliografia, si descrivono alcuni elementi essenziali della sua struttura. Una volta scelto, ad esempio, il ramo "02", la codifica prevede altre cinque classi, riportate in Tabella 2.

02 01	Edificato
02 02	Manufatti
02 03	Opere delle Infrastrutture di trasporto
02 04	Opere di sostegno e di difesa del suolo
02 05	Opere idrauliche, di difesa e di regimazione idraulica

Tabella 2 - Valori ammissibili per il secondo livello, quando il primo ha valore "02".

Infine, una volta scelto il ramo “02 01”, vi sono altre cinque classi, riportate dalla Tabella 3. Per alcune categorie è prevista una chiave secondaria che meglio specifica la natura degli oggetti. Il nome del campo che contiene la sotto-chiave e i valori ammissibili sono diversi per le varie categorie. Ad esempio per la categoria “020101” (edifici) la seconda chiave è EDIFC\_TY e può prendere una decina di valori. Per le entità della categoria “Area di circolazione veicolare”, aventi chiave primaria “010101”, la chiave secondaria è memorizzata nel campo AC\_VEI\_FON e distingue la tipologia dei fondi stradali; sono contemplati i casi: asfalto, cemento, ciottoli, ghiaia, lastricato, pavé, terra, erba, opus incertum e autobloccanti.

02 01 01	Unità volumetrica
02 01 02	Edificio
02 01 04	Elementi di copertura
02 01 05	Particolare architettonico
02 01 06	Edificio minore

Tabella 3 - Valori ammissibili per il terzo livello, quando i precedenti hanno valore “02 01”.

In conclusione, la mappa ha un contenuto informativo estremamente dettagliato (Figura 2) che può essere efficacemente usato per associare ad ogni entità il proprio coefficiente BAF. Tuttavia presenta anche alcuni aspetti problematici che sono stati attentamente presi in considerazione: vi sono entità sovrapposte, come nel caso delle strade con sovrappassi e dei cortili con garage sottostanti. Inoltre i cortili sono classificati con un grado di dettaglio minore di altre entità e la natura della pavimentazione (terreno, ghiaia o cemento) non è presente nel database.

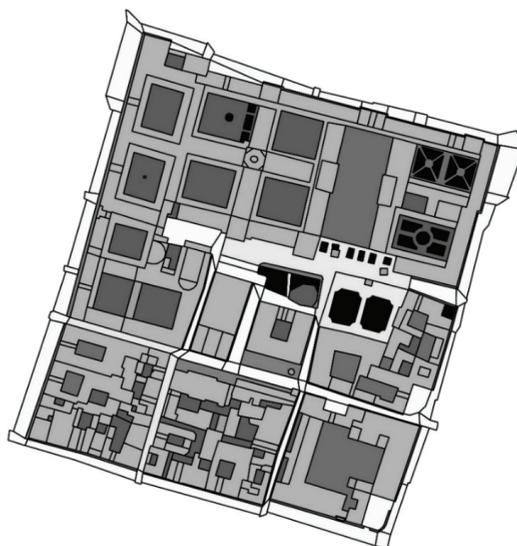


Figura 2 - Illustrazione del grado di dettaglio della classificazione per l'area test n. 4: i toni di grigio corrispondono ai diversi codici presenti.

### La metodologia sviluppata

Come anticipato la metodologia M4BAF è basata primariamente sull'osservazione che la carta numerica del Comune di Pavia (e di circa l'80% dei Comuni lombardi (18, 24)) ha un grado di dettaglio (relativamente alla geometria e al contenuto informativo) più che sufficiente per realizzare una dettagliata mappatura del BAF, cioè per associare a ogni zona omogenea del territorio mappato l'appropriato coefficiente. Il prodotto finale della procedura è un layer costituito da poligoni

adiacenti, non sovrapposti, senza buchi e che coprono tutta la città; tutti tali poligoni hanno associato un coefficiente BAF.

Prima di tutto è stata effettuata una selezione dei layer interessanti: dei 74 iniziali ne sono stati mantenuti 29, scartando entità puntuali e lineari o poligoni ridondanti (gli edifici per esempio sono descritti da numerosi layer poligonali). Gli elementi selezionati sono stati importati in ambiente Matlab per le successive elaborazioni. E' stata aggiunta alla tabella di ogni layer una grand-key (GK), derivante dal concatenamento della chiave primaria e della secondaria. E' stata costruita una tabella che associa ad ogni valore di GK i corrispondenti valori BAF; tale tabella è stata usata per associare ad ogni entità l'appropriato *peso BAF*, vedi Tabella 4. Infine, i 29 strati sono stati uniti, a formare un unico layer poligonale dei coefficienti BAF.

GK	Chiave1	Chiave2	Cod. BAF	Peso BAF	Descrizione
010101 0221	010101	0221	1	0	asfalto
010101 0228	010101	0228	2	0.3	pavé
010101 0212	010101	0212	6	1	erba
020204 0102	020204	0102	6	1	campo da calcio
020204 0103	020204	0103	2	0.3	campo da tennis
050393 0105	050393	0105	3	0.5	pietraie e ghiaioni
050393 0116	050393	0116	1	1	sabbia

Tabella 4 - Esempio della tabella realizzata, che in realtà ha 174 righe.

Le operazioni descritte finora, per quanto proceduralmente semplici, hanno richiesto una notevole attività di programmazione in modo da gestire correttamente l'ampia casistica che si può presentare in termini di struttura dei dati, casi particolari, errori nel database iniziale.

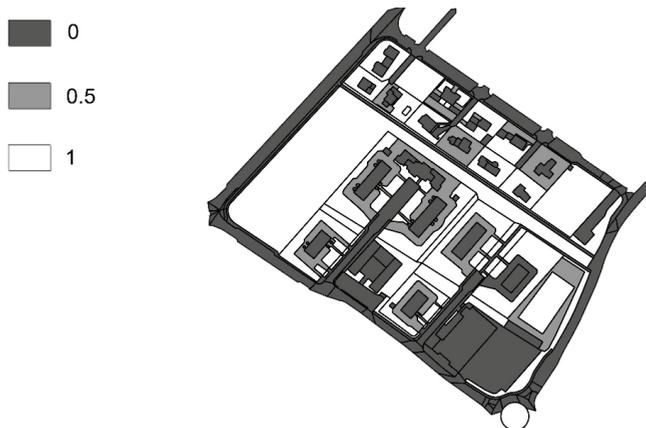


Figura 3 - Classificazione BAF per l'Area Test 2. I tre toni di grigio rappresentano i tre coefficienti BAF presenti in quell'area.

Ancora più complessa si è rivelata la gestione dei poligoni sovrapposti, che si incontrano ad esempio nel caso dei cortili con garage sottostanti. Generalmente i poligoni sono parzialmente sovrapposti e hanno coefficienti BAF diversi in quanto uno rappresenta, ad esempio, un cortile in erba e l'altro un garage. E' stato necessario creare funzionalità di analisi booleana dei poligoni capaci di scomporre i poligoni originari in nuovi poligoni adiacenti e non sovrapposti, realizzando così una partizione. Ad ogni elemento della partizione è stato associato come coefficiente BAF il più basso (in modo da produrre una classificazione *prudente*) fra quelli dei poligoni iniziali sovrapposti ad esso. Infine, la nuova partizione ha sostituito nel database generale i poligoni originari. La Figura 3 mostra la mappa BAF per l'Area Test 2. Il pacchetto M4BAF dispone inoltre

di funzionalità di reportistica che consentono di produrre ad esempio la Tabella 5, in cui sono indicati: i pesi BAF ammissibili (col. 1), il numero delle entità aventi un certo coefficiente (col. 2), l'area totale di tali poligoni (col. 3), la consistenza percentuale della loro area rispetto al totale (col. 4), la EESA cioè l'area equivalente dei poligoni, ottenuta moltiplicando l'area per il peso (col. 5) e infine la consistenza percentuale dell'EESA (col. 6). Nell'ultima riga sono riportati i risultati complessivi e in particolare: il nome dell'area test considerata, il numero delle entità, la loro area, l'area equivalente e infine il BAF di tutta l'area test.

Peso BAF	# Entità	Area [kmq]	Area [%]	EESA[mq]	EESA[%]	BAF
1.0	63	48 551.36	45.26	48 551.36	86.00	
0.7	0	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.5	21	15 808.18	14.73	7 902.59	14.00	
0.3	0	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.0	173	42 920.92	40.01	0.00	0.00	
<b>Area 2</b>	<b>257</b>	<b>107 277.46</b>		<b>56 453.95</b>		<b>0.53</b>

Tabella 5 - Calcolo del BAF per l'area test 2.

E' anche implementato un meccanismo di selezione in modo che la procedura di report possa essere eseguita per tutto il database o per un sotto-insieme delle entità; la selezione può essere effettuata con condizioni logiche sui campi o con condizioni geometriche: vengono selezionate le entità che sono sovrapposte anche parzialmente a un poligono definito dall'utente.

### Validazione della metodologia

La procedura descritta è stata validata per verificare la sua capacità di misurare correttamente il BAF. Per raggiungere lo scopo sono state individuate 12 aree test, la cui area è circa uguale al 5% delle zone costruite del Comune di Pavia (Figura 4).

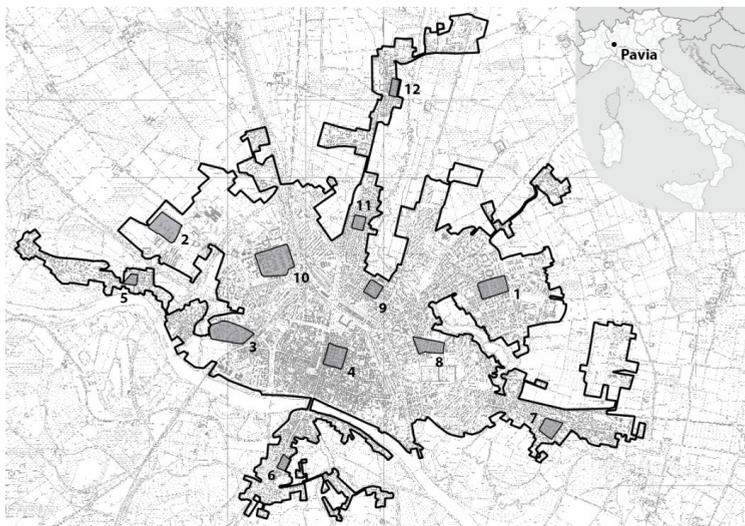


Figura 4 - I poligoni piccoli e numerati rappresentano le aree test; il poligono più grande rappresenta la zona costruita del Comune.

Per ogni area test sono state preparate tre tipologie di cartografia, che sono in seguito elencate e descritte.

Livello 1 – *La carta com'è*. La stessa mappa (gli stessi poligoni, la stessa classificazione) che può essere scaricata dal sito web del Comune, modificata solo aggiungendo i campi relativi al BAF, come descritto nella sezione precedente.

Livello 2 – *La carta come dovrebbe essere*. La mappa esistente potrebbe contenere errori ed essere difforme dalle linee guida regionali (20 e 21). La carta al livello 2 viene modificata in modo da essere corretta e conforme alle specifiche.

Livello 3 – *La vera mappa BAF*. La carta al livello 2 potrebbe differire dalla mappa BAF ideale pur essendo conforme alle specifiche. Ad esempio i cortili (meno importanti di edifici e strade in una logica puramente cartografica) devono essere rappresentati da un unico poligono, anche se contengono una parte in erba e un'altra in cemento. Se un cortile misto (erba e cemento), viene rappresentato da un unico poligono, ciò è corretto rispetto alle linee guida della cartografia, ma porterà a una cattiva stima del BAF per quella parte di territorio. Per superare il problema sono state create le mappe di livello 3, ottenute arricchendo quelle di livello 2 e, tipicamente, scomponendo alcuni poligoni in diversi sotto-poligoni e assegnando loro manualmente i coefficienti BAF.

Le mappe di livello 2 e 3 sono state create editando manualmente la cartografia esistente e usando come supporto e guida l'ortofoto a colori del Comune (avente risoluzione al suolo di 10 cm) e diverse fonti disponibili in rete (Google Street View e le immagini oblique di Bing Maps). E' anche prevista una verifica sul campo, che deve ancora essere conclusa.

	Area [mq]	BAF 1	BAF 2	BAF 3	Delta 1-3 [%]	Delta 2-3 [%]
<b>Area test 1</b>	81 727	0.08	0.11	0.11	-23.89	0.00
<b>Area test 2</b>	107 277	0.53	0.47	0.49	7.20	-3.46
<b>Area test 3</b>	132 390	0.29	0.29	0.28	3.68	2.98
<b>Area test 4</b>	31 099	0.29	0.27	0.31	-7.40	-14.38
<b>Totale</b>	352 493	<b>0.31</b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>	<b>3.33</b>	<b>-1.88</b>

Tabella 6 - Risultati della validazione per 4 aree test e per i tre livelli di cartografia considerati.

La Tabella 6 mostra i risultati per quattro aree test e indica: la misura della superficie (col. 2), il calcolo del BAF sulle carte di livello 1, 2 e 3 (col. 3, 4 e 5), la variazione percentuale fra il valore ottenuto per il livello 1 e quello per il livello 3, da ritenersi vero (col. 6), la variazione percentuale fra il livello 2 e 3 (col. 7). L'ultima riga contiene i risultati complessivi che sono stati ottenuti usando la [1] per l'insieme di tutti i poligoni. Il lavoro di costruzione della mappe di livello 2 e 3 per le rimanenti otto aree test è pressoché concluso, mentre le verifiche sul campo sono in corso. I risultati complessivi saranno pubblicati a breve.

### Discussione

La Tabella 6 riporta i valori di BAF per ciascuna area test e per i tre livelli considerati; come detto, il valore BAF 3 deve essere considerato vero. Le variazioni tra BAF 1 e BAF 2 sono molto limitate: se consideriamo le differenze in termini assoluti, il massimo scostamento è 0.06, mentre se analizziamo gli scarti in termini relativi, l'area test 1 mostra un valore prossimo al 24% (corrispondente però ad una variazione di 0.03). Tale valore risulta alto solo perché il valore di BAF dell'area è molto basso. Differenze molto limitate fra la mappa reale (BAF 1) e quella corretta (BAF 2) evidenziano che la cartografia da cui siamo partiti è realizzata bene.

Il confronto tra gli indici BAF 1 e BAF 3 indica una differenza globale (sulle 4 aree test) prossima al 3%. Tale valore, molto basso, conferma come la cartografia vettoriale può essere utilizzata per determinare, con un ottima qualità, l'indice BAF.

### Replicabilità della metodologia

La Regione Lombardia ha predisposto linee-guida per la realizzazione e l'aggiornamento della cartografia a grande scala dei Comuni (20, 21). Ha inoltre pubblicato bandi per cofinanziare i Comuni che decidessero di creare ex-novo o aggiornare la cartografia in modo conforme alle specifiche. Attualmente (18, 24) 1244 Comuni su 1544 (corrispondenti al 80%) hanno una cartografia conforme, alla quale può dunque essere applicata la metodologia descritta nella nota.

E' molto interessante il fatto che le specifiche lombarde siano ispirate a una sorta di standard nazionale (19) di cui le Regioni avevano la possibilità di modificare alcuni dettagli, mantenendo la struttura generale. In sostanza si può dire che la cartografia di Pavia ha la stessa struttura della cartografia di un grande numero di Comuni italiani.

### Conclusioni

La nota propone una nuova metodologia per la misura del BAF basata sull'analisi avanzata della cartografia vettoriale. La procedura proposta è realizzabile perché la cartografia vettoriale utilizzata è molto dettagliata sia in termini di geometria che di classificazione.

Il metodo è automatico, oggettivo, e permette di determinare in modo molto accurato il valore dell'indice BAF per l'intera città o per sue parti.

Il metodo è replicabile poiché le stesse procedure possono essere immediatamente applicate a quasi tutti i Comuni lombardi e, con alcuni semplici adattamenti, possono essere estese alla maggior parte delle città italiane. L'eventuale esportazione al di fuori dei confini nazionali dipende delle caratteristiche e dal livello di dettaglio posseduto dalla cartografia nelle diverse nazioni.

L'esperienza descritta potrebbe essere utilizzata anche nella direzione opposta, in modo da evidenziare quali requisiti dovrebbero possedere le mappe al fine di divenire un valido supporto per la determinazione del BAF.

### Contributo all'articolo - ringraziamenti

Si ringrazia il Comune di Pavia per aver fornito la cartografia. L'articolo è stato scritto con contributo paritetico da Vittorio Casella e Marica Franzini. Vittorio Casella ha concepito la metodologia descritta e l'ha codificata in Matlab. Giuseppe Girone e Paolo Marchese hanno predisposto i dataset analizzati svolgendo un imponente lavoro di editing e dando contributi significativi all'impostazione del lavoro di validazione. Marica Franzini ha svolto le analisi descritte nell'articolo.

### Bibliografia

1. Akbari H. (2002), "Shade trees reduce building energy use and CO2 emission from power plants", *Environmental Pollution*, 116: 119-126
2. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998), "Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements", *FAO Irrigation and drainage paper 56*, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
3. Bernini M., Campeol A., Felloni F., Magoni M. (1993), *Aspetti ecologici nella pianificazione territoriale*, Edizioni Grafo, Brescia
4. Bregha F. (1998), *The Integration of Environmental Factors in Government Policy*, Canadian Environmental Assessment, Research Council
5. Camagni R., Capello R., Nijkamp P. (1998), "Towards sustainable city policy: an economy-environment technology nexus", *Ecological Economics*, 24: 103-118
6. De Lotto R., Casella V., Franzini M., Gazzola V., Morelli di Popolo C., Sturla s., Venco E.M., (2015), "Estimating the Biotope Area Factor (BAF) by Means of Existing Digital Maps and GIS Technology", *Computational Science and Its Applications-ICCSA 2015*, Springer International Publishing: 617-632.

7. De Lotto R., Venco E.M. (2013), “Efficacia e attuabilità di indici ecologico-ambientali nella pratica urbanistica”, *Urbanistica Informazione*, 75-77
8. De Lotto R. (2008), “Assessment of development and regeneration urban projects: cultural and operational implications in metropolization context”, *International Journal of Energy and Environment 1*, vol. 2:24-35
9. European Commission Strategic Environmental Assessment (SEA) [http://ec.europa.eu/environment/funding/cei\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/funding/cei_en.htm)
10. Hargreaves G.H., Samani Z.A. (1982), “Estimating potential evapotranspiration – Tech. Note”, *Journal of Irrigation and Drain Engineering*, ASCE 108
11. Kruse A. (2011), *GRaBS Expert Paper 6: The Green Space Factor and the Green Points System*, GRaBS Edizioni: The GRaBS project. London: Town and Country Planning Association & GRaBS
12. Lakes T., Kim H. O. (2012), “The urban environmental indicator “Biotope Area Ratio”- An enhanced approach to assess and manage the urban ecosystem services using high resolution remote-sensing”, *Ecological Indicators*, 13(1): 93-103
13. Ricci L. (2013), “Piano locale. Nuove regole, nuovi strumenti, nuovi meccanismi attuativi”, *ISPRA Qualità dell’Ambiente Urbano*, Rapporto IX: 130-170
14. Senate Department of Urban Development and the Environment (Berlin) [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/en/1\\_plan.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/en/1_plan.shtml)
15. Sito web città di Pavia – Download Cartografia, <http://www.comune.pv.it/site/home/dai-settori-e-servizi/settore-pianificazione-e-gestione-del-territorio/s.i.t.-sistema-informativo-territoriale/download-open-geodata.html>
16. Sito Web regionale sui Progressi del Progetto di Database Topografici, [http://www.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale\\_P&childpagename=DG\\_Territorio%2FDetail&cid=1213616799512&packedargs=NoSlotForSitePlan%3Dtrue%26menu-to-render%3D1213277392613&pagename=DG\\_TERRWrapper](http://www.regione.lombardia.it/cs/Satellite?c=Redazionale_P&childpagename=DG_Territorio%2FDetail&cid=1213616799512&packedargs=NoSlotForSitePlan%3Dtrue%26menu-to-render%3D1213277392613&pagename=DG_TERRWrapper)
17. Standard Tecnici Nazionali per i Database Topografici, [http://www.centrointerregionale-is.it/public/DB\\_Topografici/1n1007\\_1-2\\_vers2006\\_3-3.pdf](http://www.centrointerregionale-is.it/public/DB_Topografici/1n1007_1-2_vers2006_3-3.pdf)
18. Standard Tecnici Regionali per i Database Topografici – Specifiche di contenuto, [http://www.regione.lombardia.it/shared/ccurl/888/28/DBT2009SpecificheDiContenuto\\_1.0\\_20090215.pdf](http://www.regione.lombardia.it/shared/ccurl/888/28/DBT2009SpecificheDiContenuto_1.0_20090215.pdf)
19. Standard Tecnici Regionali per i Database Topografici – Allegati alle specifiche di contenuto, [http://www.regione.lombardia.it/shared/ccurl/942/780/Allegati\\_SpecificheDiContenuto\\_1.1\\_4.0\\_20090302.pdf](http://www.regione.lombardia.it/shared/ccurl/942/780/Allegati_SpecificheDiContenuto_1.1_4.0_20090302.pdf),
20. Steiner F. (2000), *The living landscape: an ecological approach to Landscape Planning*. McGraw Hill Professional, Milano
21. Sturla S., Venco E.M. (2013), *Qualità ambientale nel progetto urbano: strumenti applicativi*, Elementi di progettazione urbanistica. Rigenerazione urbana nella città contemporanea. Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 131-152
22. WebGIS sui Progressi del Progetto di Database Topografici, <http://is.gd/geobandi>
23. WebGIS della Cartografia di Pavia, [http://webgis.comune.pv.it/PV\\_FLEXESTERNO/](http://webgis.comune.pv.it/PV_FLEXESTERNO/)