Studio di modelli per l'individuazione di aree provvisorie per lo stoccaggio di rifiuti mediante analisi multicriterio

Valerio Baiocchi (*),Keti Lelo (*) (**), Alessandra Polettini (***),Raffaella Pomi(***), Marianna Scutti (*), Ennio Tanga (****)

(*) DITS – Area Geodesia e Geomatica, "Sapienza" Università di Roma, via Eudossiana, 18, 00184 Roma (Italy), valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) CROMA – Università degli studi "Roma 3", Via Ostiense 139 – 00154 Roma, lelo@uniroma3.it
(***) DITS – Area di Ingegneria Sanitaria-Ambientale, "Sapienza" Università di Roma , via Eudossiana 18, 00184 Roma, alessandra.polettini@uniroma1.it
(****) Amministrazione provinciale di Roma, Servizio di Protezione Civile, Via Tiburtina 695 00100 Roma, e.tanga@provincia.roma.it

Le amministrazioni provinciali, anche in base alle recenti normative contenute nel c.d. "Testo unico sull'Ambiente", mantengono la competenza sullo studio e la perimetrazione delle aree idonee all'ubicazione degli impianti per il trattamento dei rifiuti. L'amministrazione provinciale di Roma ha già implementato un piano che delimita le aree non idonee all'insediamento di impianti per il trattamento dei rifiuti: la stesura di tale piano è stata già esposta in precedenti comunicazioni. In questa sede si esporranno gli studi sulle metodologie per la graduazione delle aree rimanenti (c.d "aree bianche") per valutarne la maggiore o minore idoneità all'ubicazione degli impianti stessi. L'obiettivo finale è di definire differenti livelli di idoneità di tali aree; è stata effettuata un'analisi multi criterio basata su due modelli: *Index Overlay e Fuzzy Logic*.
Infine sono state individuate le aree più idonee utilizzando i fattori preferenziali ed analizzando solo alcune aree di particolare interesse per l'amministrazione provinciale.
Sulla base delle nostre analisi si può dire che i siti analizzati presentano caratteristiche che non escludono l'idoneità per l'ubicazioni di depositi o impianti; ma questi studi devono essere considerati come uno strumento per l'analisi preliminare del territorio, cui dovrebbero analisi più specifiche e di dettaglio.

Abstract
Provinces, as stated by the recent legislation (see D. Lgs. 2006), maintain the competence on the study and the delimitation of suitable areas for the location of the waste disposal and treatment plants. The provincial administration of Rome has already implemented a plan to delimit non suitable areas for the installation of such plants. The layout of this plan has already been exposed in previous papers. In this communication, methodological aspects related to a second phase of the plan will be exposed, concerning the graduation of the remaining areas (so called "white areas").
The final goal is to define different suitability levels of such areas. In this step we used a multi-criteria analysis based on two main models: index overlay and fuzzy logic.
At the end we define potentially suitable areas. In this last phase we give attention to preferential factors and we decide to deeply analyze only some areas. A first analysis was made using Google Earth images and then we inspected the chosen areas mainly to find recent development of urbanized areas.
On the base of our analysis we can say that inspected areas respect most of the preferential aspects but they need a deeper study of ground morphology, geological study and the all the other evaluation that may be of interest for this complex classification.

Contesto

La necessità di individuare nuovi siti da adibire ad impianti per il trattamento e lo smaltimento dei rifiuti è dovuta sia al fisiologico aumento dei consumi, sia al necessario adeguamento alle normative più recenti le quali prevedono un progressivo mutamento del tipo di impianti e una loro ridislocazione. Il Dlgs 152/2006, che sostituisce aspetti ovvero integra il decreto Ronchi, prevede infatti, come obiettivo, la progressiva riduzione dello smaltimento in discarica in favore del riciclo, del riutilizzo e del recupero di materia e, per la sola frazione residuale, di energia. Per raggiungere tali obiettivi c'è bisogno di profonde trasformazioni nel sistema di gestione dei rifiuti al fine di integrare le azioni di raccolta e trasporto, stoccaggio intermedio, trattamento e smaltimento finale dei rifiuti residuali con l'obiettivo di una riduzione degli impatti potenziali sull'ambiente e sull'uomo. La normativa prevede che, tra le competenze delle amministrazioni provinciali, ci sia quella di redigere il piano delle aree non idonee alla collocazione dei vari tipi di impianti necessari per la gestione integrata, sulla base delle linee guida definite dalle Regioni territorialmente competenti.

Inoltre ulteriore competenza è la redazione dei piani di protezione civile provinciali con riferimento anche ai rischi collegati a situazioni di emergenza rifiuti quali quelle recentemente verificatesi in Campani e con individuazione di modalità provvisorie di smaltimento dei rifiuti. Il progetto è interamente basato su metodologie GIS che consentono l'integrazione di fonti cartografiche e di banche dati di differente provenienza (Regione, Autorità di Bacino, Servizi tecnici Nazionali etc.), l'estrazione e la selezione dell'informazione ed avanzati livelli di analisi spaziale.

Metodologia

Le indicazioni della Regione Lazio prese in considerazione sono quelle contenute nel "Piano straordinario" (B.U.R.L. 10/10/03) che, a quanto risulta, sono ancora in vigore, in cui vengono

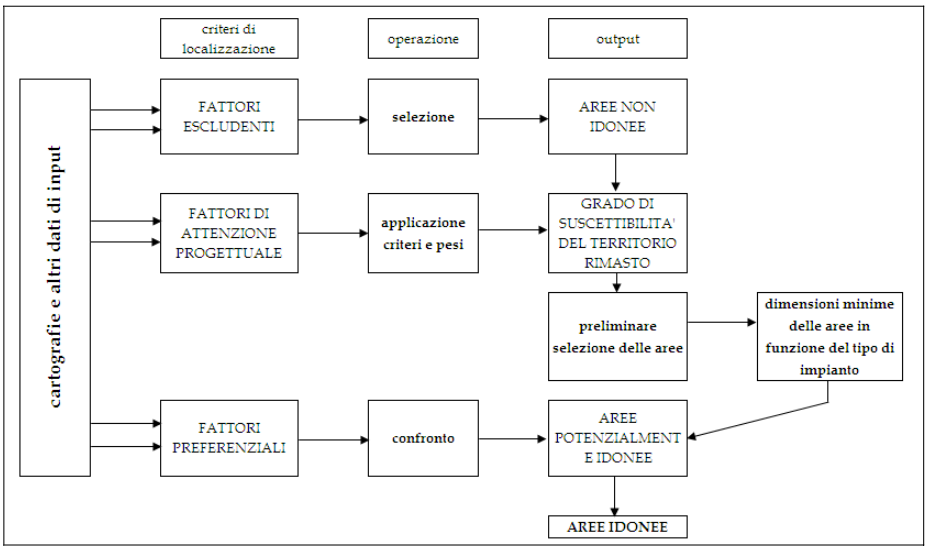

Figura 1- Fasi metodologiche del progetto

enunciati i criteri di localizzazione per l'ubicazione degli impianti; tali criteri considerano i seguenti tre distinti aspetti: ambientali, idrogeologici e di difesa del suolo, territoriali. Per ciascun aspetto, e dunque per ciascun criterio, vengono ulteriormente individuati i seguenti fattori: "esclusione", che precludono ogni possibile localizzazione di impianti; "attenzione progettuale", i quali rendono necessari ulteriori approfondimenti per valutare la realizzabilità e "preferenziali" che, ove presenti,

favoriscono la localizzazione dell'impianto nel sito e che, ovviamente, possono essere presenti nelle sole "aree bianche" (ovverosia nelle aree che non presentano fattori di esclusione). Questi criteri di localizzazione hanno costituito la base per implementare una metodologia che, partendo dalla graduazione delle idoneità delle aree, ha come obiettivo finale quello di fornire uno strumento che possa assistere l'amministrazione nell'identificazione di aree idonee per la localizzazione di diverse tipologie di impianti. In pratica le aree vengono definite in tre fasi successive: fase di definizione delle aree non idonee, fase di definizione del grado di idoneità del territorio rimanente; e fase di approfondimento su alcuni siti individuati nella precedente fase (Fig. 1).
Il confronto con la definizione delle aree bianche eseguito nel 2005 ha mostrato come tale perimetrazione risulti di fatto obsoleta, in quanto l'individuazione si è basata sulle coperture disponibili a quella data e non considera, come è ovvio, l'evoluzione della normativa e degli aspetti territoriali che influiscono sulla scelta dei siti. Si è partiti quindi da una revisione che ha portato al conseguente aggiornamento di tutti i fattori allora presi in considerazioni ed integrando con alcuni fattori allora non disponibili (tra cui la perimetrazione delle aree soggette alla l. 1497/39) realizzando una nuova cartografia delle aree non idonee, che di fatto ha costituito la base di partenza per il lavoro successivo in quanto utilizzata come "maschera" per concentrare lo studio sulle aree rimanenti (fig. 2).

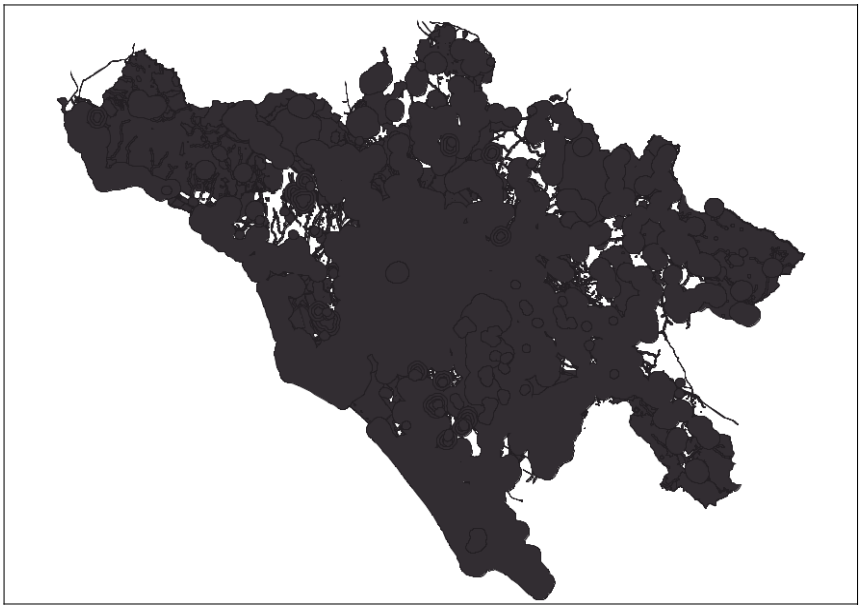

Figura 2- Individuazione aree bianche

Nella seconda fase sono stati presi in considerazione i fattori di attenzione progettuale e, grazie all'implementazione di un percorso metodologico basato sull'analisi multicriterio, con l'applicazione di modelli di tipo *Index overlay* e *Fuzzy logic*, sono state graduate le cosiddette "aree bianche". Il primo passo di questa modellizzazione è consistito nella definizione dei "pesi" dei fattori definiti dalla normativa, sia graduando l'importanza reciproca dei fattori stessi (colonna a destra tab. 1), sia valutando, ove possibile, la loro significatività in funzione di alcune caratteristiche specifiche (lungo le righe della medesima tabella). Tale assegnazione di pesi non ha la pretesa di definire in maniera univoca e definitiva la graduazione di questi parametri, ma va intesa come una proposta suscettibile di miglioramenti, modifiche e ripensamenti anche e soprattutto in base ad osservazioni e suggerimenti da parte degli esperti dei numerosi settori interessati.

Mappa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P
Vulnerabilità		Molto alta	alta		Medio alta		media		bassa		molto bassa	4
Vincolo idrologico							si					3.5
Aree esondabili		R4	R3			R2			R1		-	3
Dist dai corpi idrici		< 500			< 1000		< 1500				>= 2000	3
Sismicità								media				1
Boschi							si					1.5
Dist aree protette		< 200			< 500		< 1000		< 2000			3
Dist da aree agricole di pregio		< 200		<500		< 1000					>= 1800	3
Pendenza dei versanti (°)				> 25			< 20		< 10		< 5	1.5
Frane							R4	R3				1.5
Dist beni immobili		< 200			< 500		< 1000		< 2000			3

Tabella 1- Pesi assegnati ai fattori di attenzione progettuale

La tabella va quindi letta sia in senso orizzontale che verticale in quanto si è scelto di assegnare:

- un punteggio da 0 a 10 per ogni fattore di attenzione progettuale, dove i valori più bassi rappresentano un minor grado di idoneità (come nel caso di vulnerabilità e sismicità), o comunque di pericolosità (come nel caso delle aree esondabili o delle frane), o una maggiore prossimità all'area (ad esempio nel caso della distanza dai corpi idrici, dalle aree protette, dalle aree agricole di pregio e dai beni immobili);
- un punteggio da 1.5 a 4 ai diversi fattori; in questo caso il punteggio più basso indica una minore influenza di quel fattore sull'idoneità dell'area.

I pesi già illustrati sono stati inseriti nel sistema utilizzando il metodo dell'*Index Overlay*. Con questo metodo i pesi vengono assegnati ad ogni classe e ad ogni mappa e i valori nella mappa di output sono calcolati come segue:

$$S = \frac{\sum W_i S_{ij}}{\sum W_i}$$

dove i simboli assumono il seguente significato:
S: valore pesato di ogni pixel;
Wi: peso della *i*-a mappa di input;
Sij: peso della *j*-a classe *i*-a mappa, dove il valore *j* dipende dalla classe presente in ogni pixel.

Analogamente, è stato applicato un modello basato sul *Fuzzy logic*, con i criteri di valutazione esposti nella Figura 3. In una mappa *fuzzy*, ad ogni pixel viene associato un valore compreso tra 0 ed 1; per realizzare le mappe si possono utilizzare diversi operatori: *fuzzy* AND, *fuzzy* OR, *fuzzy algebric product*, *fuzzy algebric sum, fuzzy GAMMA*. È stato scelto di applicare il modello basato sull'operatore *fuzzy GAMMA*, che assicura un buon compromesso tra le tendenza "incrementale" della *FAP* (*Fuzzy Algebric Product*) , e la tendenza "decrementale" del *FAS* (*Fuzzy Algebric Sum*).

Nel caso della funzione *fuzzy GAMMA* tutti i valori di appartenenza hanno effetto sul risultato; γè un parametro scelto nel range 0-1.
Il metodo *fuzzy* risulta essere il più adatto perché assegna i pesi in modo graduato, e non per poligoni, come nel caso del metodo *Index overlay*.
Come si può vedere dalla tabella seguente, ai diversi fattori di attenzione progettuale sono stati assegnati pesi con valore compreso tra 0 ed 1, dove 1 rappresenta il fattore che ha maggiore influenza; per ogni fattore è stato assegnato lo stesso un punteggio variabile tra 0 ed 1, dove 1 indica il maggior grado di idoneità.

CRITERI / VALORI FUZZY	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	1	0.8	0.9	1	PESI
Dist dai corpi idrici	0-500										> 2000	0.75
Dist da aree agricole di pregio	0-200										> 1800	0.75
Dist aree protette	0-200										> 2000	0.75
Dist da beni immobili	0-200										> 2000	0.75
Pendenza dei versanti (°)	> 25										< 5	0.38
Boschi							si					0.38
Frane							si					0.38
Sismicità								si				0.25
Aree esondabili		r4	r3			r2			r1			0.75
Vincolo idrologico							si					0.75
Vulnerabilità		molto alta	alta		medio alta		media		bassa		molto bassa	1

Figura 3- Pesi assegnati ai fattori di attenzione progettuale

Si noti che in questo caso è stata prevista la possibilità che uno dei fattori assuma un valore pari a zero in alcune particolari situazioni; poiché il valore di idoneità complessivo viene calcolato come prodotto, il valore nullo di uno qualunque dei fattori rende nulla l'idoneità complessiva di quell'area, qualunque sia il valore degli altri fattori nella stessa area. Le aree che riportano il valore nullo sono in questo caso escluse dalle ulteriori analisi e quindi devono considerarsi alla stessa maniera delle aree non idonee già descritte e individuate. Conseguentemente, nel metodo *fuzzy gamma* vengono individuate meno zone idonee rispetto a quelle determinate con il metodo *index overlay*. Con questo metodo, altamente conservativo, l'idoneità è pari a zero nell'82% delle aree, mentre la percentuale delle aree con grado di idoneità compreso tra 1 e 4 è del 18% rispetto al totale delle "aree bianche".
Poiché le aree bianche ricoprono circa il 5% dell'area della provincia di Roma, applicando il metodo *fuzzy gamma* si è ottenuto una percentuale delle aree di grado zero, cioè non idonee, pari ad un ulteriore 4% del totale.

Prime verifiche sui singoli siti

Nel'ultima fase si è posta l'attenzione sui fattori preferenziali e si è deciso di analizzare con maggior dettaglio solo alcuni siti di particolare interesse per l'Amministrazione. Questa analisi preliminare non ha lo scopo di definire in maniera definitiva se le aree individuate siano idonee o no, perché in tal caso maggiori e più approfondite analisi si sarebbero rese necessarie; al contrario si è voluto verificare se il modello avesse condotto ad identificare delle aree palesemente inadatte a tale destinazione.
Si è quindi eseguita una prima analisi, per verificare l'idoneità di questi siti, utilizzando le ortofoto da satellite ad alta risoluzione liberamente disponibili su Google Earth. Tali immagini, pur presentando una risoluzione tra le più elevate tra le immagini satellitari (0.7 m in pancromatico), presentano una ridotta accuratezza di georeferenziazione (fino a decine di metri di errore); si è comunque ritenuto che per un'analisi preliminare, volta principalmente ad individuare aree urbanizzate di recente insediamento o altre simili caratteristiche del territorio non rilevabili dalle nostre cartografie, tale accuratezza fosse sufficiente. In una seconda fase sono stati eseguiti sopralluoghi conoscitivi, nei siti che risultavano più interessanti.
I siti analizzati presentano caratteristiche che ad una prima analisi non escludono l'idoneità per l'ubicazioni di depositi o impianti confermando, almeno in via preliminare la validità dei modelli studiati.

Conclusioni

I modelli implementati, basati su approcci multicriterio, hanno permesso di graduare le aree non interessate da fattori di esclusione, e quindi potenzialmente idonee alla localizzazione degli impianti provvisori per lo stoccaggio dei rifiuti, considerando criteri ed aspetti anche profondamente diversi tra loro. La graduazione dei parametri qui proposta, sicuramente migliorabile, ha permesso di individuare siti che, ad un primo esame risultano compatibili con le necessità del Servizio di Protezione Civile Provinciale e che, previe ulteriori indagini, potrebbero essere inseriti in piani di sicurezza per fronteggiare emergenze nella gestione dei rifiuti.

Bibliografia

Baiocchi V., Mascia S., Tanga E., Vitti A., Zatelli P., Zottele F. (2005): "SIG et déchets". *Géomatique expert*, v. 44, pp. 42-47

Baiocchi V., Bortolotti C., Crespi M., Del Moro M.A., Pieri S., (2004): "Accuratezza delle trasformazioni tra Datum e sistemi cartografici nazionali: implementazione nei software di maggiore utilizzo nelle applicazioni GIS" *Atti Convegno ASITA 2004*

Bonham-Carter G.P. (1994) "Geographic information Systems for geoscientists", Pergamon, Ontario, Canada

Cima V., Maseroli R., Surace L. (2003): "Manuale Cartlab 2"

Dlgs 152/2006 http://www.parlamento.it/leggi/deleghe/06152dl.htm

Lelo K. "Land suitability for urban development", *Land resources and Land evaluation of Central Valley of the Cochabamba (Bolivia)*, Ministero degli Affari Esteri, Istituto Agronomico per l'Oltremare, 2000, Firenze, pp. 97-102

Regione Lazio (2005) "Piano degli interventi di Emergenza nella Regione Lazio" pp. 74-83