

Affidabilità degli studi di microzonazione sismica: dal modello agli strumenti sw

Ambrosanio Maurizio - In-TIME Srl - Spin-off dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, ambrosanio@innovazioneperlaterra.org
Ioannilli Maria - Università degli Studi di Roma Tor Vergata – maria.ioannilli@gmail.com
Quadrio Bruno - CNR – IGAG - bruno.quadrio@igag.cnr.it

Parole chiave: rischio sismico; microzonazione sismica; indagini; Spatial Analyst



ABSTRACT

A seguito all'emanazione della legge 77/2009, il Dipartimento della Protezione Civile ha attivato un programma per la realizzazione, in tutti i Comuni italiani a maggiore pericolosità sismica, di studi di Microzonazione Sismica (MS), un importante strumento per la prevenzione del rischio sismico.

Nella prospettiva di verifica e ottimizzazione delle risorse impiegate e di garanzia di livelli qualitativi omogenei, il CNR-IGAG, con il supporto di In-TIME Srl, ha predisposto un metodo sperimentale, basato sul sistema standard di archiviazione dei dati geografici adottato a livello nazionale, finalizzato a calcolare un Indice di Affidabilità (IA), a partire dalla tipologia e dalla distribuzione geografica delle indagini effettuate all'interno delle singole microzone.

Uno specifico *tool* è stato realizzato in ArcMap per il calcolo automatico di IA e la gestione dei risultati.

1. Introduzione

A seguito di un evento sismico, l'osservazione dei danni alle costruzioni e alle infrastrutture spesso evidenzia differenze sostanziali anche a piccole distanze oppure crolli e danni notevoli a grandi distanze dall'epicentro. Sicuramente la qualità delle costruzioni può influire sulle differenze del danno, ma spesso le cause vanno ricercate in effetti dovuti ad amplificazioni del moto sismico o a instabilità del suolo. Tutto ciò è oggetto degli studi della Microzonazione Sismica (MS). Questi studi hanno infatti lo scopo di riconoscere, ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub comunale), le condizioni geologiche, geomorfologiche, geofisiche e geotecniche locali che possono modificare, anche sensibilmente, le caratteristiche del moto sismico.

In estrema sintesi, gli studi di MS tentano di definire per un territorio, in caso di terremoto, quali siano:

- gli effetti temporanei, ovvero quanto lo scuotimento in superficie venga amplificato e modificato dalle condizioni locali
- gli effetti permanenti, ovvero le diverse tipologie di instabilità cosismiche o post sismiche del territorio (frane sismoindotte, faglie attive e capaci, liquefazioni, cedimenti differenziali).

Il prodotto di queste studi è una mappa del territorio diviso in microzone a comportamento sismico omogeneo.

Dopo il terremoto in Abruzzo del 6 aprile 2009, il Dipartimento della Protezione Civile ha avviato il "Piano nazionale per la prevenzione sismica" (art.11 del Decreto legge n. 39/2009, "legge Abruzzo", convertito con la legge n. 77/2009) nell'ambito del quale sono state stanziare risorse per la realizzazione di interventi disciplinati da specifiche ordinanze. In tale contesto è in corso un finanziamento pluriennale per

la realizzazione di studi di Microzonazione Sismica (MS) nei Comuni la cui accelerazione su roccia è maggiore o uguale a 0,125 g (periodo di ritorno 475 anni).

Il riferimento metodologico adottato da tutte le Regioni è costituito dagli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS, 2008)” e dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2012).

Già nell’ambito delle prime sperimentazioni effettuate a seguito del terremoto dell’Aquila del 6 aprile 2009 era emerso che l’applicazione degli ICMS (2008) non forniva indicazioni per valutare gli studi di MS dal punto di vista dei contenuti, specialmente per il livello MS1, rilevando diversità anche sostanziali fra i prodotti realizzati da singoli gruppi di lavoro. A tale esperienza era seguita una prima ipotesi di procedura semi-quantitativa semplificata per stabilire la qualità di una carta di MS di livello 1 (Albarello *et al.*, 2011), che non poteva ancora tener conto della disponibilità di basi dati standardizzate e sistemi di archiviazione omogenei.

Più recentemente, il CNR-IGAG, avvalendosi del supporto di In-TIME Srl, ha avviato una revisione di quanto esistente a livello metodologico per la valutazione dell’affidabilità degli studi di MS. La metodologia sviluppata, attualmente ancora in corso di sperimentazione, è finalizzata a esprimere una valutazione sintetica dell’affidabilità di uno studio di MS (Indice di Affidabilità, IA), a partire dalla tipologia e dalla distribuzione geografica delle indagini effettuate all’interno delle singole microzone. Il metodo è finalizzato a costruire strumenti operativi per la identificazione di livelli qualitativi per i tutti i territori indagati dagli studi di MS.

Questo documento descrive il la metodologia, i dati necessari per la sua applicazione e le modalità applicative. Viene inoltre descritto uno specifico *tool* realizzato in ArcMap per il calcolo automatico degli indici di affidabilità e la gestione dei risultati.

2. La Microzonazione sismica e gli Standard di archiviazione informatica

Gli studi di MS possono essere effettuati su tre livelli di approfondimento: “il livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee; il livello 2 introduce l’elemento quantitativo associato alle zone omogenee, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessarie, e definisce la Carta di microzonazione sismica; il livello 3 restituisce una Carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari” (ICMS, 2008).

Accanto agli ICMS (2008) sono stati recentemente pubblicati gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli Studi di MS” (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2012) che hanno definito la modalità di strutturazione delle informazioni, sia geografiche che alfanumeriche.

In tale contesto, nella progettazione dell’Indice di Affidabilità si è voluto da un lato valorizzare l’opportunità derivante da un alto grado di omogeneità dei dati su tutto il territorio nazionale, dall’altro definire un metodo che, pur semplificato, minimizzasse la necessità di valutazioni soggettive e rendesse comparabili risultati riferiti a contesti differenti.

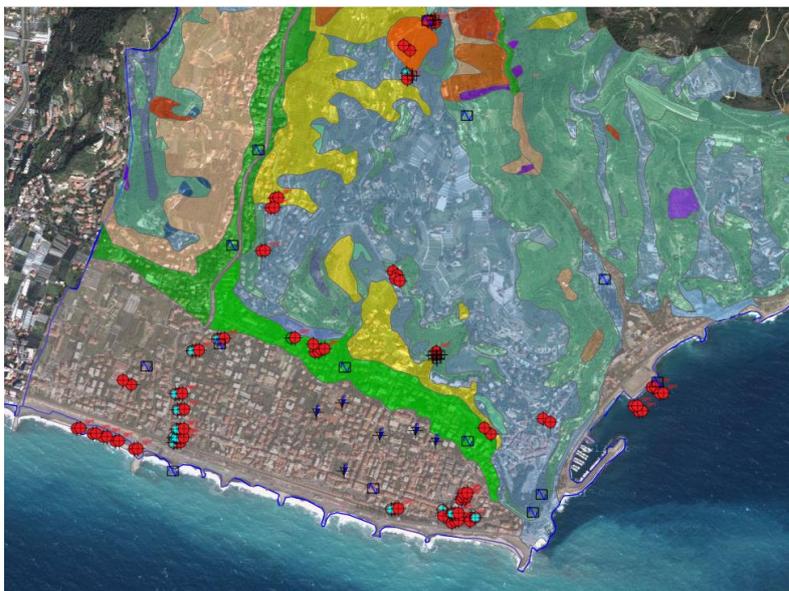


Figura 1 - Esempio di Studio di Microzonazione Sismica con indagini puntuali effettuate (Comune di Bordighera (IM), tematizzazione secondo Standard). Fonte: Regione Liguria.

3. L'Indice di Affidabilità (IA)

La metodologia di calcolo di IA valuta uno studio di MS in base all'affidabilità conoscitiva delle singole microzone che lo compongono, analizzate ciascuna in base alle indagini (geologiche, geotecniche, geofisiche ecc.) in esse condotte. Ciò si esplica nel valutare due aspetti fondamentali: il primo relativo alla tipologia di indagini esperite per caratterizzare ciascuna microzona, il secondo legato alla distribuzione geografica delle indagini stesse all'interno della singola microzona.

L'indice si basa sulla valutazione di una serie di dati oggettivi senza entrare nel merito delle elaborazioni effettuate, a giudizio esperto, dai singoli professionisti.

L'Indice di Affidabilità della carta di MS viene definito complessivamente componendo gli Indici di Affidabilità delle singole microzone (IA_x , con x numero identificativo della singola microzona).

Ciascuno degli IA_x , è a sua volta derivato dalla combinazione di due indici distinti:

- Indice di tipologia (It_x), riferito alla tipologia delle indagini presenti nella microzona;
- Indice di distribuzione (Id_x), riferito alla distribuzione delle indagini presenti nella microzona.

La metodologia di valutazione che è stata definita è applicabile, variando opportuni parametri, a tutti e tre i livelli di approfondimento degli studi di MS.

3.1 Indice di tipologia (It_x)

L'indice di tipologia (It_x) valuta l'affidabilità conoscitiva della singola microzona in funzione della tipologia delle indagini effettuate in quella medesima microzona. In uno studio di MS le diverse tipologie di indagini effettuabili presentano profili di significatività diversi in funzione della tipologia di microzona e del livello di approfondimento. In primo luogo nella metodologia sviluppata viene esaminata la presenza/assenza di cosiddette "indagini essenziali", ovvero di almeno una indagine per ciascuno di gruppi di tipologie di indagini opportunamente definiti in base alla specifica tipologia di microzona. Vengono considerate essenziali le indagini che forniscono parametri direttamente utili alla descrizione compiuta della pericolosità sismica locale della microzona e la loro presenza è considerata indispensabile per raggiungere un risultato almeno sufficiente in termini di affidabilità di contenuti nell'ambito di uno studio di MS.

In secondo luogo, ad ogni tipologia di indagine è stato assegnato, a giudizio esperto, un punteggio (che rappresenta una misura sintetica della significatività dell'indagine stessa), diversificato secondo il livello di approfondimento e il tipo di microzona

In base alla verifica della presenza/assenza delle indagini essenziali e al calcolo del totale dei punteggi associati alle indagini (considerate una sola volta per ciascuna tipologia), ogni microzona dello studio viene classificata in una scala qualitativa, che esprime un giudizio sull'idoneità del tipo di indagini effettuate.

Per calcolare I_t , vengono effettuate, per ciascuna microzona:

- l'individuazione univoca dei tipi di indagini presenti, a prescindere dal loro numero, e l'associazione a ciascun tipo del corrispondente punteggio;
- l'identificazione di eventuali lacune nella presenza di "indagini essenziali";
- il calcolo del punteggio totale della microzona;
- la classificazione in base ai risultati precedenti, anche in funzione della tipologia di microzona e del livello di approfondimento.

3.2 Indice di distribuzione (I_d)

L'indice di distribuzione (I_d) è stato formulato al fine di quantificare in un valore sintetico diverse caratteristiche riguardanti la distribuzione spaziale delle indagini all'interno delle singole microzone.

In particolare I_d caratterizza ciascuna microzona dal punto di vista:

- dell'area della microzona sottoposta ad indagine in rapporto all'area totale della microzona. Per poter effettuare tale caratterizzazione è necessario che vengano preliminarmente determinati, sulla base di un giudizio esperto, degli intorni delle indagini all'interno dei quali si ritiene siano estendibili i risultati delle indagini stesse. Si assume, in generale, che sia condizione di maggiore affidabilità quella in cui la superficie esterna agli intorni sia di piccole dimensioni rispetto alla superficie totale della microzona;
- della distribuzione spaziale delle indagini presenti nella microzona, assumendo una maggiore affidabilità per quelle microzone in cui le indagini presentano una distribuzione uniforme; il concetto di distribuzione uniforme è stato tradotto analiticamente come verrà descritto nel seguito, ma in maniera intuitiva è stato inteso come quella distribuzione per cui le indagini non sono concentrate in uno o più cluster né sono eccessivamente distanti tra loro, bensì sono distribuite su tutta la superficie della microzona, in modo tale che non vi siano parti della microzona eccessivamente distanti da indagini.

La questione può ad un primo sguardo apparire piuttosto semplice, ma la coesistenza di una serie di elementi rende considerevole il grado di complessità. I_d deve infatti tenere in contemporanea considerazione il grado di copertura della microzona e la distribuzione delle indagini al suo interno, in contesti con microzone dalla forma e dimensione estremamente variabile. È risultata evidente l'impossibilità di adottare procedure di calcolo basate sulle tradizionali tecniche di analisi spaziale delle distribuzioni di punti (Sivlerman, 1986; Ebdon, 1985) o di *tasselation* (Quiang *et al.*, 1999) poiché queste restituiscono, nello specifico problema in esame, valori non completamente significativi per poter valutare la distribuzione. Nella problematica qui affrontata si è infatti in presenza di zone caratterizzate da estrema variabilità di forma e dimensione e all'interno delle quali i punti di indagine sono generalmente in numero limitato. Queste condizioni rendono di fatto non utilizzabili metodi che risentano fortemente degli effetti di bordo o che, viceversa, non considerino affatto l'esistenza di un confine. Le medesime condizioni rendono inoltre impossibile l'assunzione di distribuzioni ottime di riferimento, per la definizione delle quali si renderebbe necessario ipotizzare l'esistenza di un rapporto standard (ottimo) tra variabili intrinsecamente non standardizzabili (forma e superficie delle microzone, numerosità e distribuzione delle indagini).

Per il calcolo dell'indice I_d in primo luogo sono state introdotte due concettualizzazioni, tipiche delle modellazioni a base geografica:

- viene definita una zona intorno alle indagini in cui si ritiene siano estendibili i risultati dell'indagine stessa (area di pertinenza), di dimensioni dipendenti dal contesto geologico e dalla tipologia di microzona. Ciò si traduce nel calcolo di un buffer, a distanze parametrizzate, intorno alle indagini e solo limitatamente all'interno del perimetro della microzona in cui ricade l'indagine;

- l'area della microzona viene discretizzata in unità areali cellulari con un passo molto piccolo rispetto al raggio minimo adottato per rappresentare l'area di significatività di ciascuna indagine. Il passo adottato è di cinque metri.

La formulazione dell'Indice di distribuzione Id_x che si sta sperimentando è la seguente:

$$Id_x = \frac{1}{\log_{10}\left(\frac{10}{A_{tot} \sum_i A_i D_i^2}\right)} \quad \text{per} \quad \sum A_i D_i^2 > A_{tot} \quad [1]$$

$$Id_x = 1 \quad \text{per} \quad \sum A_i D_i^2 \leq A_{tot} \quad [2]$$

In cui:

Id_x Indice di distribuzione della microzona x

A_{tot} Superficie totale della microzona x

A_i Superficie della cella i-esima, esterna ai buffer e interna alla microzona x, che si trova ad una distanza D_i dall'area di buffer più vicina

D_i Distanza del baricentro della cella i-esima dal bordo del buffer più vicino

Operativamente, l'Indice Id_x si basa sul concetto che a distanze dalle indagini inferiori al raggio di buffer l'informazione relativa all'indagine sia estrapolabile ed estendibile, mentre a distanze maggiori vi sia una carenza che pesa in maniera proporzionale al quadrato della distanza. Tale carenza è quantificata dall'indice valutando la distribuzione delle distanze dal buffer in maniera pesata rispetto alla superficie corrispondente a ciascuna distanza.

L'utilizzo del termine quadratico per le distanze consente di evidenziare le situazioni di non omogenea copertura della microzona con le indagini effettuate, cioè situazioni di *clustering* o di eccessiva distanza tra le indagini stesse. In linea generale, all'aumentare della superficie che si trova a distanze maggiori dai buffer delle indagini si otterranno valori minori dell'indice.

Il fattore è reso logaritmico per poter meglio gestire quantità ricadenti in un intervallo molto ampio ed è formulato in maniera tale da assumere valori compresi tra 0 (condizione peggiore) ed 1 (condizione migliore).

Nel dominio $\sum A_i D_i^2 \leq A_{tot}$ l'Indice è posto pari ad 1 per evitare che esso diverga verso valori poco significativi e in quanto le aree esterne ai buffer e le loro distanze dal limite dei buffer sono molto piccole rispetto all'area totale della microzona.

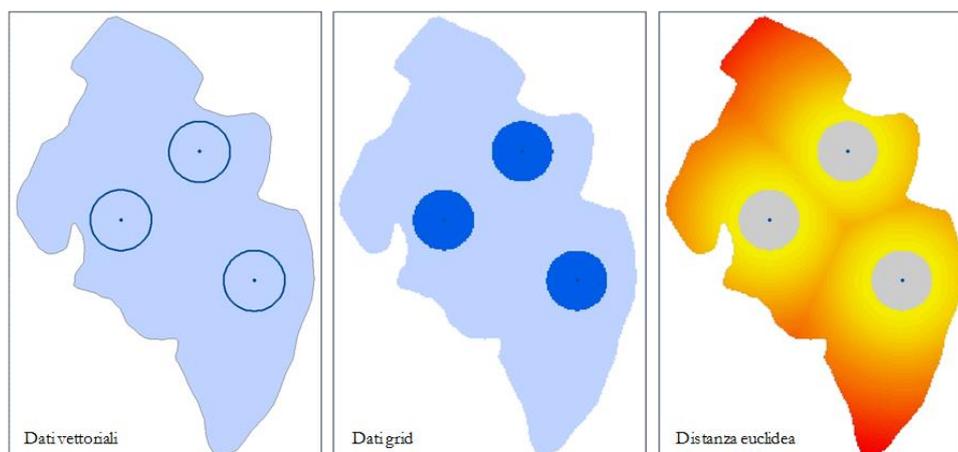


Figura 2 - Processo tecnico di costruzione dell'Indice Id_x .

I valori dell'indice di distribuzione così calcolato vengono poi classificati in tre classi.

Per ciascuna microzona, l'indice di distribuzione (Id_x) viene composto con l'indice di tipologia (It_x) per ottenere un indice di affidabilità (IA_x) della microzona. I diversi indici delle microzone contribuiscono a un indice di affidabilità (IA) della carta di MS.

4. Il tool ArcMap

Uno specifico *tool* è stato sviluppato in ambiente ArcGIS Desktop tramite script Python per il completo calcolo degli indici da parte dell'utente, senza necessità di elaborazioni manuali aggiuntive, e per la presentazione dei risultati, al fine di individuare le situazioni che necessitano di più accurate indagini.

Il *tool* utilizza in ingresso i dati di MS strutturati secondo gli Standard e consente tramite maschere all'utente di inserire eventuali informazioni aggiuntive utili per il calcolo degli indici.

Al fine di calcolare l'indice di tipologia, viene elaborata la componente alfanumerica dei dati, fornendo come risultato per ciascuna microzona anche l'indicazione sulle eventuali indagini minime mancanti.

Il calcolo dell'indice di distribuzione avviene analizzando le relazioni geografiche tra indagini e microzone, costruendo i buffer secondo i parametri letti dai dati delle microzone e infine calcolando l'indice tramite strumenti di Spatial Analysis di ArcGIS per ciascuna microzona.

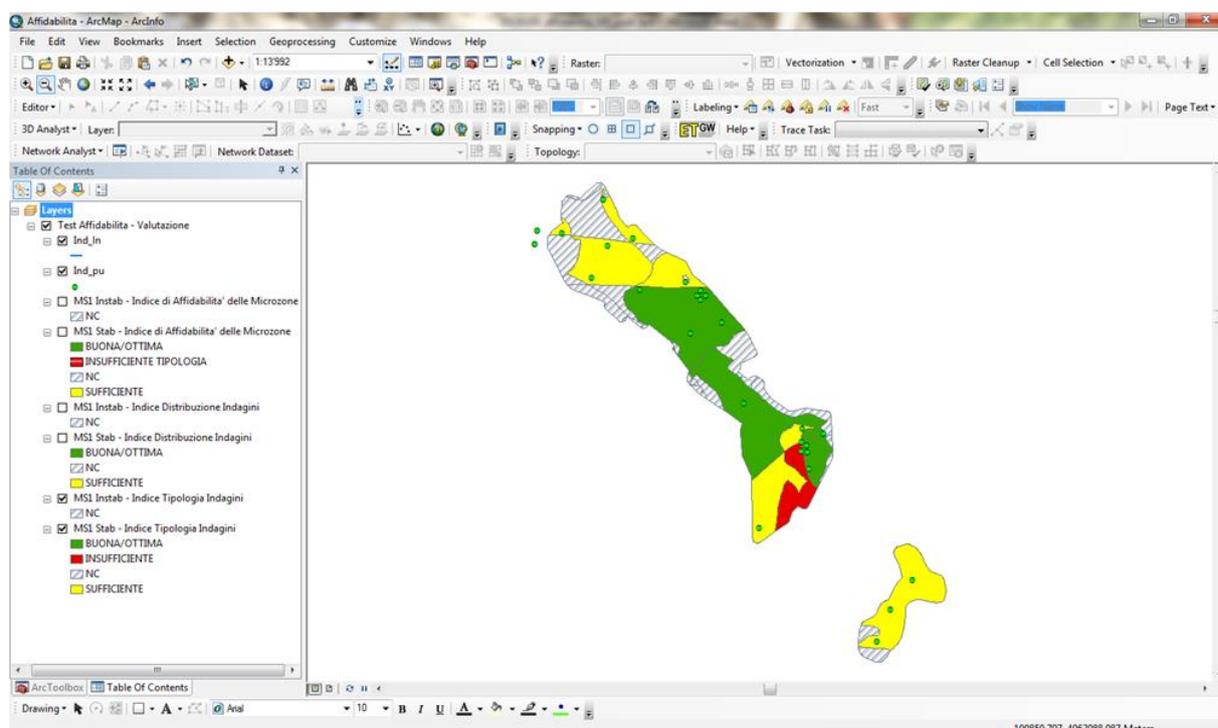


Figura 3 - Presentazione dei risultati elaborati dal tool.

Tramite ArcMap vengono presentati i risultati delle elaborazioni opportunamente tematizzati; oltre ai prodotti complessivi della valutazione, vengono rappresentati layer per ciascuna tipologia e livello di microzone e per ciascun indice (tipologia, distribuzione) calcolato per esse, al fine di individuare rapidamente le lacune per eventuali miglioramenti dello studio.

5. Conclusioni

Un metodo sperimentale per il calcolo di un Indice di Affidabilità degli studi di Microzonazione Sismica è stato messo a punto e sono stati sviluppati strumenti software idonei ad automatizzare tutte le elaborazioni. Il metodo è attualmente in fase di sperimentazione e sta producendo buoni risultati.

In particolare per quanto riguarda l'indice di distribuzione, come si evince dalla formulazione [1][2], esso ha un andamento fortemente non lineare e può risultare di non immediata leggibilità senza un'adeguata classificazione. Per migliorare tale aspetto sono in corso attività finalizzate a ottenere risultati più direttamente relazionabili a configurazioni ideali.

Come detto, l'indice di affidabilità si basa sulla valutazione di una serie di dati oggettivi senza entrare nel merito delle elaborazioni effettuate, a giudizio esperto, dai singoli professionisti. Ulteriori approfondimenti potranno essere effettuati sulle analisi che portano alla realizzazione degli elaborati funzionali agli studi di MS (costruzione del modello geologico tecnico, simulazioni numeriche, restituzione cartografica delle microzone, incertezze sui risultati, ecc). In questo senso si prevede, anche sulla base dei numerosi dati archiviati, di poter in futuro sviluppare ulteriori metodi per la valutazione degli studi.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Prof. D. Alberello e il Prof. G. Raspa per i contributi e le osservazioni.

Riferimenti

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2012). Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, Versione 2.0. A cura di Brammerini F., Castenetto S., Naso G., Quadrio B. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province Autonome.

Alberello D., Castenetto S., Naso G. (2011) Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità di una carta di MS di livello 1. Ingegneria Sismica, Patron editore, XXVII.2: 63-64.

ICMS – Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (2008). A cura di Brammerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province Autonome, Roma, Italia.

Du, Q., Faber, V., & Gunzburger, M. (1999). Centroidal Voronoi tessellations: applications and algorithms. SIAM review, 41.4: 637-676.

Silverman, B. W. (1986). Density estimation for statistics and data analysis (Vol. 26). CRC press, USA

Ebdon D. (1985), Statistics in geography. Blackwell, Oxford, UK