

# **Strumenti di supporto alle decisioni e sistema informativo ambientale: il caso della Provincia di Milano.**

## **Integrating decision support tools and environmental information systems: a case study on the Province of Milan.**

Stefano Bagli, Alberto Pistocchi, Paolo Mazzoli - GECOsystema srl Cesena  
Vincenzo Imparato\*, Piergiorgio Valentini\*\*, Roberta Donati\*\*\*, Laura Zanetti\*\*\*

(\*) Direttore Centrale Ambiente Provincia di Milano

(\*\*) Funzionario Provincia di Milano, *Servizio Gestione Sistema Informativo Ambientale - S.I.A. Ufficio A21 e Politiche di Sviluppo Sostenibile*

(\*\*\*) Consulenti Provincia di Milano, *Servizio Gestione Sistema Informativo Ambientale - S.I.A. Ufficio A21 e Politiche di Sviluppo Sostenibile*

### ***Sommario***

Il contributo esemplifica l'integrazione di strumenti di supporto alle decisioni avanzati, come la modellistica matematica dei fenomeni ambientali, i metodi di contabilità ambientale per la gestione dei permessi di emissione commerciabili e le tecniche di analisi del rischio e di valutazione multicriterio, all'interno di strumenti di gestione e condivisione dei dati ambientali come il Sistema informativo ambientale della Direzione centrale Ambiente della Provincia di Milano.

Dopo aver brevemente descritto le caratteristiche generali del sistema, si illustrano tre casi di studio dimostrativi degli aspetti relativi a:

1. gestione dell'inquinamento delle falde,
2. gestione dell'inquinamento atmosferico;
3. percezione della qualità urbana.

In conclusione si richiama l'utilità di un sistema di supporto alle decisioni che comprenda gli strumenti implementati nel sistema informativo ambientale della Provincia di Milano nell'ambito di iniziative qual è l'Agenda 21 locale.

### ***Abstract***

The paper demonstrates an application of advanced decision support tools within the framework of the environmental information system of the Province of Milan. These tools include environmental simulation models multicriteria analysis, risk analysis and environmental accounting for marketable emission permits.

After describing the general structure of the system, three demonstrational case studies are introduced concerning:

- groundwater pollution management
- atmospheric pollution management
- urban environmental quality perception and management.

In the conclusion, potential use of tools like the ones implemented by the province of Milan within the framework of Local Agenda 21 processes is recalled.

## ***Introduzione; caratteristiche generali del sistema***

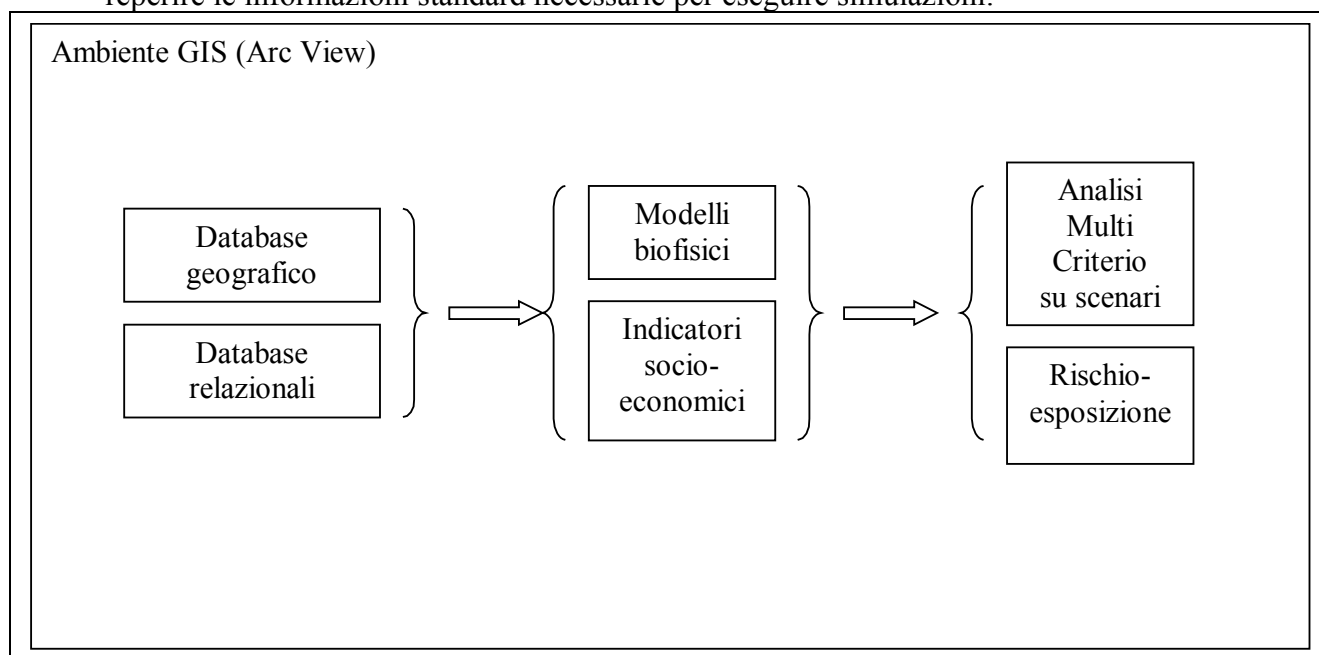
Nell'ambito del progetto STADERA <sup>1</sup>si mira a rendere operativo un sistema geografico di supporto alle decisioni (Geographic Decision Support System - GDSS) che integri gli aspetti fisici e socioeconomici in base ai quali valutare le scelte di pianificazione ambientale di livello provinciale. Esula dagli scopi dle presente contributo ogni discussione sulla natura e i principi metodologici dei sistemi spaziali di supporto alle decisioni, argomento per il quale si rinvia alla vasta letteratura esistente (si veda ad es. e per un'introduzione).

La costruzione di un sistema di supporto alle decisioni dovrebbe essere ormai un passaggio standard in tutti i processi di pianificazione di sistemi ad elevata complessità. Lo scopo del presente documento è di illustrare le caratteristiche architettoniche e le metodologie inglobate nel sistema di supporto alle decisioni proposto per il progetto STADERA della Provincia di Milano.

La caratteristica fondamentale del sistema è quella di rendere operativi, nella cornice di una banca dati di crescente complessità e completezza, un set di strumenti di modellistica previsionale con i quali supportare l'azione di pianificazione.

Il sistema si compone (Figura 1):

- di una serie di modelli "biofisici"; gli strumenti finora implementati riguardano la modellistica delle acque sotterranee e del suolo e della dispersione in atmosfera, mentre sviluppi futuri potranno riguardare le acque superficiali, i campi elettromagnetici, il rumore ecc.
- di un modello di quantificazione dell'esposizione (Exposure Assessment) e del rischio (Risk Assessment) per le popolazioni esposte a molteplici composti chimici (cancerogeni e tossici) attraverso diversi "percorsi di esposizione" (contatto dermico, inalazione, ingestione...)
- di un modulo di analisi multicriterio/multiobiettivo che implementa diversi algoritmi di *decision support*, che servono come tecnica per la valutazione di scenari e per la caratterizzazione dell'incertezza associata a ciascuna scelta di pianificazione
- di un **set di databases** contenenti dati di tipo sia geografico, sia tabellare, che consentono di reperire le informazioni standard necessarie per eseguire simulazioni.



<sup>1</sup> In seguito al Cofinanziamento del Ministero dell'Ambiente (Bando A21L 2000) la Provincia di Milano ha sviluppato il Progetto STADERA (Sistema Territoriale Ambientale dei Dati Economici di Riferimento ad Agenda 21). Obiettivo del progetto è stato quello di sviluppare e testare un sistema di contabilità ambientale per la Provincia di Milano, con la quale validare i dati fisici ed economici che descrivono lo stato dell'ambiente a livello provinciale.

## Figura 1 – schema dei rapporti fra le diverse componenti del sistema di supporto alle decisioni

In specifico riferimento alle tematiche della qualità e del rischio ambientale, il sistema di supporto alle decisioni risponde alle esigenze di disporre di uno strumento informatico integrato e flessibile che consenta di:

- individuare e caratterizzare le sorgenti di rilascio dei composti chimici e le aree contaminate;
- definire e visualizzare il modello concettuale dell'area geografica in esame;
- prevedere i fenomeni di destino e trasporto (*fate and transport*) delle sostanze inquinanti rilasciate nei media ambientali
- identificare, localizzare e caratterizzare le popolazioni di recettori umani potenzialmente a rischio;
- quantificare la *magnitudo* dell'esposizione per i diversi soggetti esposti,
- quantificare il rischio cancerogeno (*Cancer Risk*) e il pericolo tossico (*Hazard Quotient*) per le popolazioni localizzate nell'area geografica di studio;
- mappare e visualizzare le curve iso-concentrazione, iso-dose e iso-rischio, sia in condizioni attuali, sia in condizioni di scenario;
- analizzare diverse alternative di gestione e bonifica delle aree contaminate;
- individuare e progettare le migliori strategie di mitigazioni dei rischi anche secondo criteri di fattibilità tecnica ed economica;
- localizzare nuove insediamenti produttivi secondo criteri di minimizzazione dei rischi per la salute delle popolazioni;
- valutare lo scenario di sviluppo sostenibile di una area industriale o urbana
- comunicare efficacemente i risultati e le informazioni sul rischio a tutti i soggetti interessati (popolazioni, autorità di controllo, amministratori, industriali).

Il sistema di supporto alle decisioni proposto ha un duplice livello di fruizione:

- da un lato, esso è stato impiegato per la messa a punto di alcuni case studies dimostrativi della praticabilità di un approccio quantitativo, basato su modelli previsionali, nei processi di pianificazione; benché si tratti di applicazioni dimostrative e quindi ancora passibili di approfondimenti e revisioni soprattutto in merito ai dati utilizzati, i case studies mirano a fornire esempi concreti, di interesse applicativo, delle potenzialità del sistema di supporto alle decisioni;
- dall'altro, esso si configura come un template per la raccolta, omogeneizzazione e condivisione dei dati finalizzata al loro uso per la modellistica previsionale e la strutturazione dei processi di decisione basati su tecniche formali (analisi multicriterio e simulazione degli scenari).

In quest'ultimo senso, il sistema di supporto alle decisioni si pone in continuità con gli sforzi compiuti dalla Provincia negli ultimi anni per disporre di un Sistema Informativo Ambientale che consentisse l'accesso il più possibile semplice e diffuso alle basi di conoscenza, e al contempo rende disponibili ai tecnici dell'Amministrazione, in forma semplificata e finalizzata ad un apprendimento rapido del loro utilizzo, strumenti di modellistica con cui già da tempo essi si sono familiarizzati (ad oggi, le componenti del sistema bio-fisico di interesse per l'atmosfera e l'acquifero, e i modelli di valutazione del rischio).

Lo scopo del sistema di supporto alle decisioni è innanzitutto di simulare sotto i diversi profili (ambientale, economico, sociale) scenari futuri del territorio derivanti da diverse scelte di piano e di gestione, in base alla logica di una doppia scala di indagine per cui le previsioni sugli aspetti biofisici si sviluppano mediante appositi modelli, mentre per gli aspetti socioeconomici non si fornisce un modello previsionale, ma solo un set di indicatori spazialmente distribuiti che possono essere impiegati come criteri di valutazione degli scenari.

- Per esempio, è possibile simulare la dispersione di un inquinante ottenendo mappe di iso-concentrazione del medesimo; sovrapponendo a queste ultime la mappa “densità di popolazione” si possono ottenere le aree dove è più alta la priorità di intervento di bonifica in quanto corrispondenti ad un maggior numero di persone esposte all’inquinamento.
- Analogamente, sovrapponendo alla mappa della concentrazione dell’inquinante la mappa del margine operativo medio delle imprese produttive che possono essere soggette a obblighi di bonifica, si possono individuare i siti per i quali una bonifica ha i più pesanti indotti sulla produttività in base al criterio dell’incidenza dei costi di bonifica sulla redditività delle attività produttive.

Nella gestione e pianificazione ambientale, è di fondamentale importanza che i diversi specialisti coinvolti nei processi di piano interagiscano utilizzando il medesimo linguaggio (che si ritiene debba essere quello dei GIS e della cartografia numerica) non solo al livello tecnologico della visualizzazione dei dati, ma anche al livello concettuale del ragionamento geografico.

Il sistema di supporto alle decisioni si struttura così come strumento aperto, in cui possono essere aggiunti livelli informativi e algoritmi di calcolo (modelli previsionali) a piacere, ma che richiede l’adozione condivisa del paradigma cartografico.

Il sistema di supporto alle decisioni deve, in particolare, mettere a disposizione metodiche trasparenti e replicabili per confrontare fra loro i diversi scenari. Questo attualmente viene fatto mediante tecniche di analisi multicriterio che, pur non rimuovendo completamente la soggettività ed arbitrarietà di talune assunzioni, obbligano ogni soggetto che intenda esprimere un giudizio a tenere in considerazione tutti i criteri espressi dagli altri soggetti coinvolti nel processo decisionale, pur consentendogli di dare ad essi un peso soggettivo.

In tal modo, in molti contesti la concertazione e il compromesso vengono notevolmente facilitati.

Inoltre, il sistema di supporto alle decisioni deve poter permettere la gestione dell’incertezza sempre insita nelle valutazioni di tipo socioeconomico ed ambientale. Diverse sono le fonti di queste incertezze e le tecniche con le quali esse possono essere prese in conto nella valutazione degli scenari, e quindi nella scelta del diverso livello di rischio connesso a ciascun giudizio.

I requisiti che si richiedono al sistema di supporto alle decisioni sono essenzialmente quelli di fondare razionalmente le decisioni riproducendo correttamente il *pattern* e l’ordine di priorità dei fenomeni, più che la loro distribuzione di dettaglio.

Il confronto fra scenari di priorità di scelta derivanti da diverse valutazioni multicriteriali potranno essere opportunamente confrontati in termini di una razionalità comunicativa della pianificazione, e portare, se non alla condivisione di strategie ed obiettivi, per lo meno alla razionalizzazione e minimizzazione dei conflitti.

Un impiego tipico del sistema di supporto alle decisioni è quindi da ravvisare nella formazione dei piani e dei programmi di intervento della Provincia di Milano, che:

- partono (nella generalità dei casi) da una identificazione dello stato di fatto e da una prima valutazione delle criticità;
- successivamente, identificano i soggetti e le strategie da attivare, e passano a considerare
  - o gli strumenti disponibili per ottenere diversi scenari di progetto, fra loro alternativi e comportanti ciascuno, in generale, vantaggi e svantaggi che devono essere soppesati secondo un’analisi multicriteriale
  - o l’incertezza delle assunzioni con cui si giudicano gli scenari.

Approfondimenti futuri del progetto potranno riguardare la messa a punto di vere e proprie analisi costi-benefici (anche del tipo *social cost-benefit analysis*), delle quali potranno essere sviluppati esempi esplorativi, ma che comunque richiedono una maturazione ulteriore del sistema e della consistenza del database.

Inoltre, l’approccio sperimentato nel caso dell’inquinamento della falda e dell’inquinamento atmosferico da fonti industriali potrà in un futuro essere generalizzato a tutte le altre tematiche ambientali.

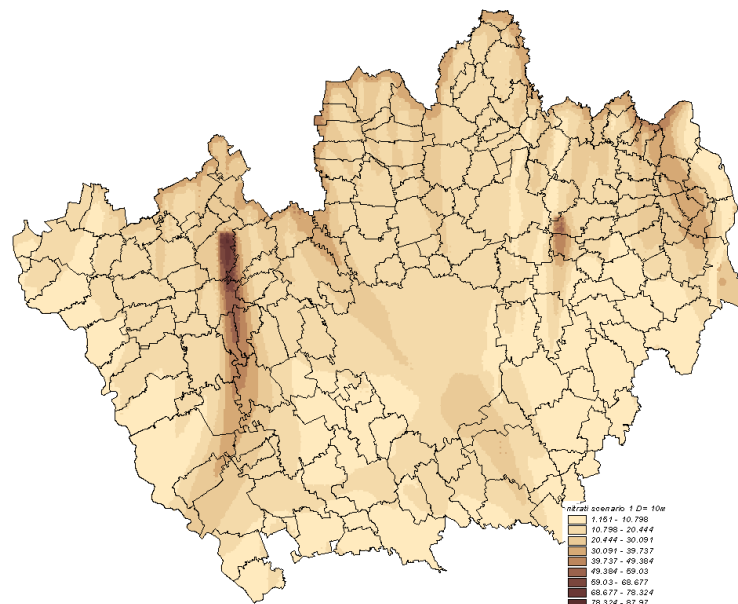
Un possibile impiego del sistema di supporto alle decisioni è nella delimitazione dei termini massimali delle emissioni “di distretto” o “di comparto”: le emissioni ammissibili in un territorio al limite del rischio accettabile per la popolazione e dell’esposizione nei vari media ambientali al limite della qualità ambientale desiderata. Questo può servire per definire un “diritto all’emissione” da attribuire ad ogni impianto e quindi innescare un meccanismo di mercato dei permessi di inquinare.

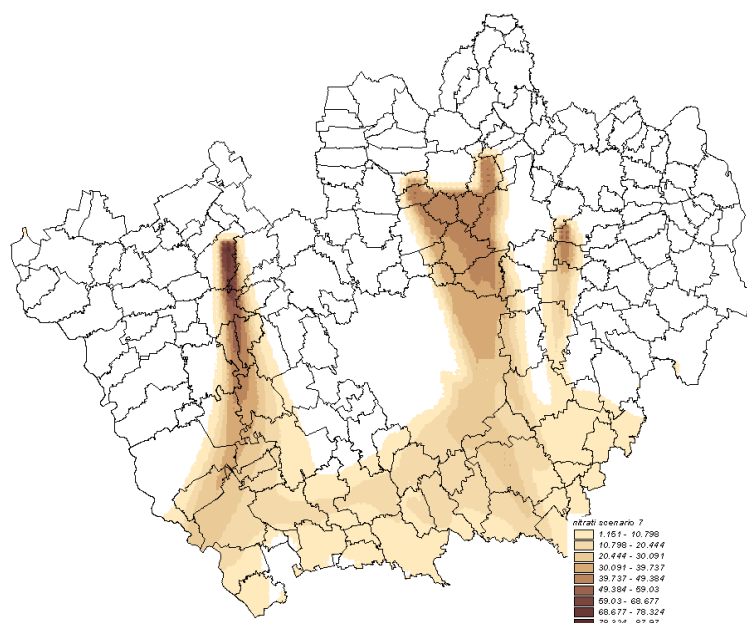
### ***Case study: alternative strategiche per il risanamento dell’acquifero***

Come **primo esempio** di applicazione si propone l’uso del sistema per valutare l’efficacia di diverse alternative di intervento per il risanamento della falda. Allo scopo sono stati individuati diversi scenari che corrispondono ad altrettante ipotesi di intervento; per ciascuna possono essere stimati diversi indicatori di performance della strategia finalizzata al risanamento della falda.

Un indicatore piuttosto semplice è la percentuale del territorio provinciale, all’orizzonte di 25 anni, che si viene a trovare al di sotto dei valori di concentrazione fissati dal Dlgs 11 maggio 1999, n.152 (p.es. il valore di soglia fra II e III classe, di 25 mg/l, secondo la tab. 20 dell’All. 1 del Decreto), per la classificazione chimica dei corpi idrici sotterranei. I modelli di flusso (MODFLOW ) e trasporto (MT3D , ) di inquinanti in falda integrati nel SIA provinciale consentono di simulare l’ipotesi di rimozione di una o più delle fonti di inquinamento individuate (si veda ad es. Figura 2).

Confrontando questo indicatore per diverse combinazioni delle strategie di risanamento è possibile valutare la performance di ciascuna in termini di efficacia. L’indicatore potrebbe essere impiegato poi in un’analisi multicriterio in cui contemperare altri aspetti quali l’efficienza, il costo, l’impatto socioeconomico di ciascuna strategia.





**Figura 2 - evoluzione dei nitrati a 25 anni secondo due diversi scenari [mg/l]**

Nella Tabella 1 sono contenuti i valori dell'indicatore prescelto, dato dalla percentuale del territorio Provinciale considerato (1.964 km<sup>2</sup> circa) al di sotto della concentrazione di 25 mg/l di nitrati, per gli scenari simulati.

Scenari	% area provinciale al di sotto di 25 mg/l
attuale	48
1	85
2	95
3	95
4	89
5	79
6	90
7	90

**Tabella 1 – indicatore di performance delle strategie ipotizzate negli scenari illustrati**

### ***Case study: permessi di emissione negoziabili e rischio cancerogeno***

L'emissione di sostanze inquinanti in atmosfera costituisce sicuramente una delle principali problematiche ambientali. Gli strumenti modellistici consentono di quantificare la magnitudo e la distribuzione spaziale delle contaminazioni e di potere pianificare oggettivamente le strategie di mitigazione dei rischi per le popolazioni esposte.

L'applicazione sviluppata riguarda l'utilizzo del sistema a supporto delle decisioni sviluppato (STADERA) al fine di stimare i valori delle concentrazioni al suolo determinati dalla emissione degli inquinanti da camini industriali. Gli algoritmi integrati possono essere inoltre utilizzati in supporto allo sviluppo di un mercato dei permessi di inquinare basato sul criterio di minimizzazione del rischio per la popolazione.

Le sorgenti di emissione oggetto delle valutazioni sono oltre 680 camini industriali i cui parametri emissivi e geometrici sono stati caratterizzati mediante una specifica analisi promossa dalla provincia di Milano (2003). Gli algoritmi di dispersione integrati in STADERA, sono costituiti dai modelli gaussiani ISC3 (nelle versioni Long e Short Term) sviluppati ed ampiamente testati da USEPA (), sono stati eseguiti utilizzando le informazioni meteorologiche rilevate da ENEL/AM

nella stazione di Milano Linate (periodo 1951-1977) per le simulazioni climatologiche a lungo termine e i dati elaborati da ARPA/SMR (anno 2001) per le simulazioni a breve termine. Nelle figure che seguono sono riportate le mappe di ricaduta per le polveri negli scenari a breve e lungo termine, i valori delle concentrazioni al suolo costituiscono l'indicatore di qualità dell'aria.

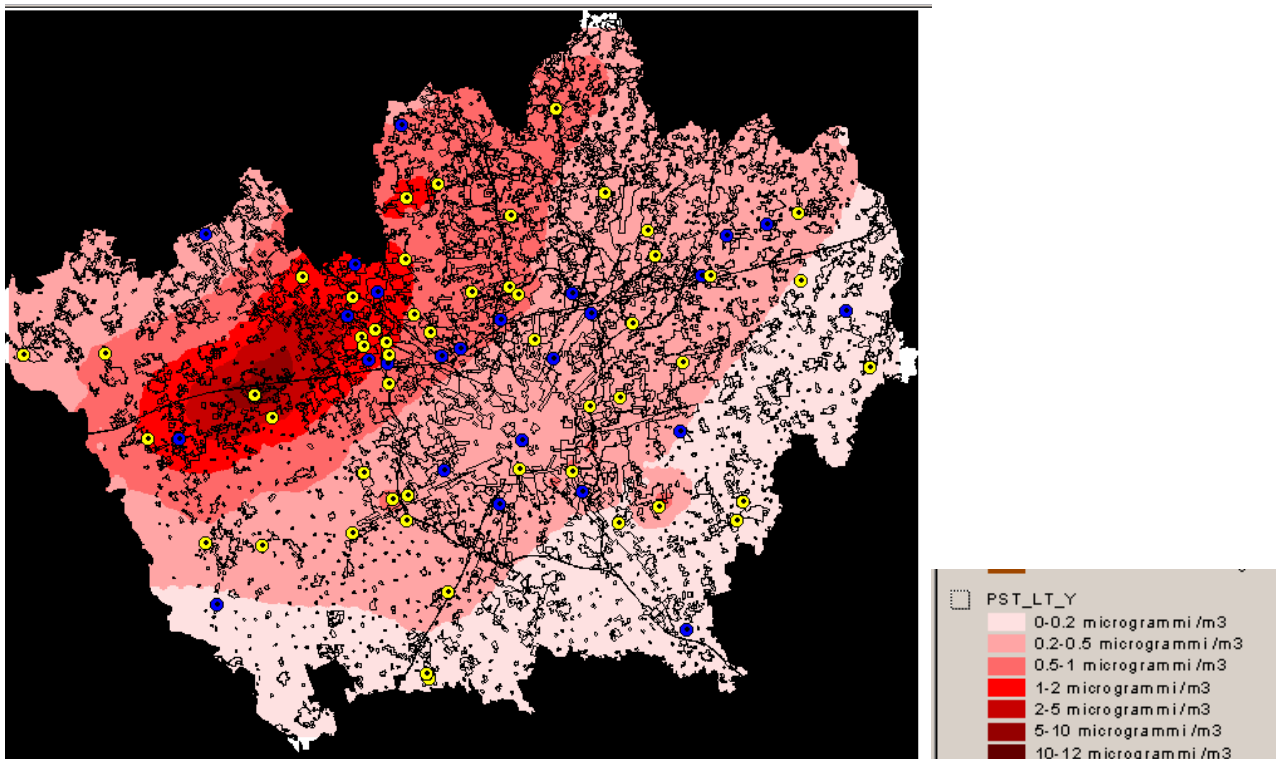


Figura 3 – Concentrazione media annuale – Polveri Totali – Long – Term (SMR 2001)

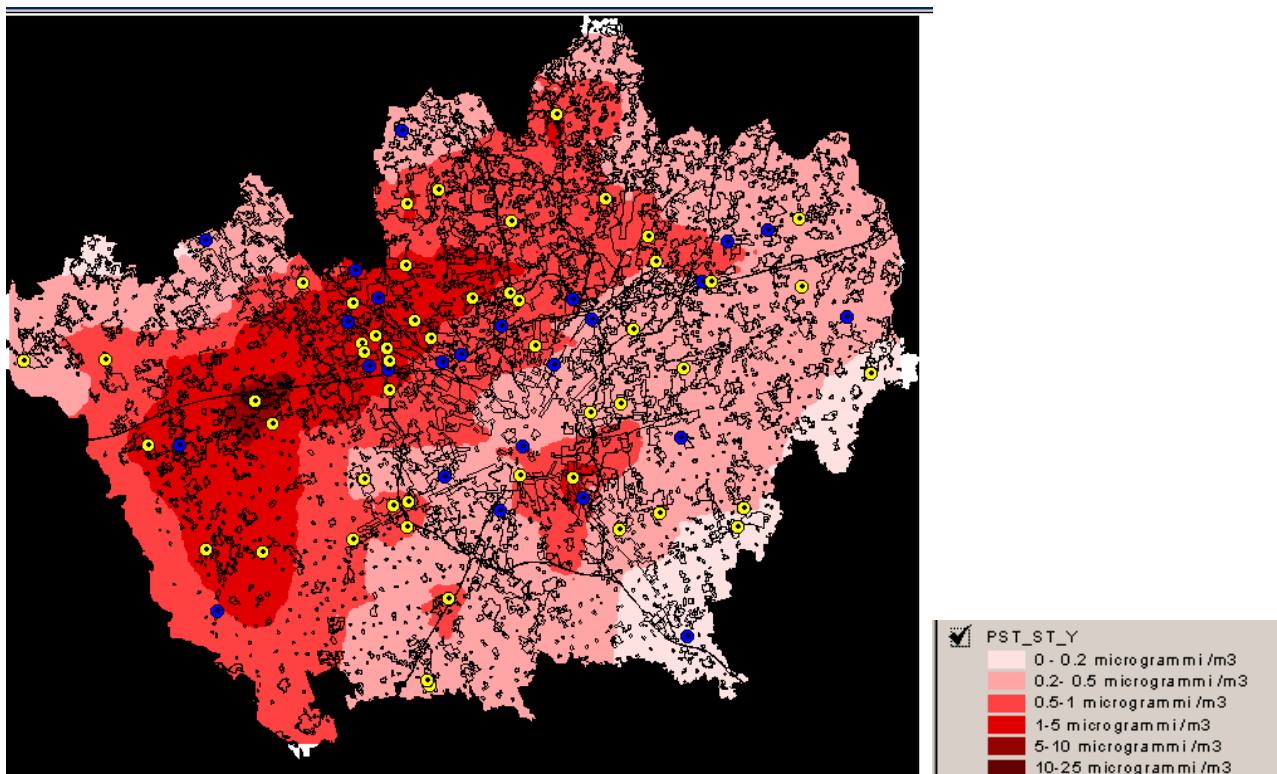


Figura 4 – Concentrazione media annuale – Polveri Totali – Short – Term (SMR 2001)

Il meccanismo dei mercati di permessi di inquinamento si basa sull'idea che, per garantire un certo standard ambientale, possono essere autorizzati solo un certo numero di scarichi di assegnate caratteristiche. Si affida così a meccanismi di mercato, quali la capacità di technological lock-in delle imprese e la monetizzazione di capacità emissive inutilizzate, il perseguimento dello standard a condizioni di massima efficienza () .

L'algoritmo sviluppato permette di calcolare i fattori di riduzione o i margini di "vendita" per ciascuna sorgente industriale sulla base dei criteri di rischio accettabile per la popolazione che si trova ad inalare le sostanze inquinanti rilasciate. Il caso di studio sviluppato ha come oggetto il Benzene, la nuova direttiva 2000/69/CE fissa un limite pari a 5 µg/m<sup>3</sup> per le concentrazioni medie annuali, mentre i limiti sulle concentrazioni di benzene in aria determinati secondo criteri di analisi di rischio da USEPA , ottenuti mediante estrapolazioni alla basse dosi secondo il criterio di massima verosimiglianza () sono i seguenti :

- Rischio Inalazione 1E-04 (1 su 10000) per concentrazione tra 13.0 e 45 µg/m<sup>3</sup>
- Rischio Inalazione 1E-05 (1 su 100000) per concentrazione tra 1.3 e 4.5 µg/m<sup>3</sup>
- Rischio Inalazione 1E-06 (1 su 1000000) per concentrazione tra 0.13 e 0.45 µg/m<sup>3</sup>

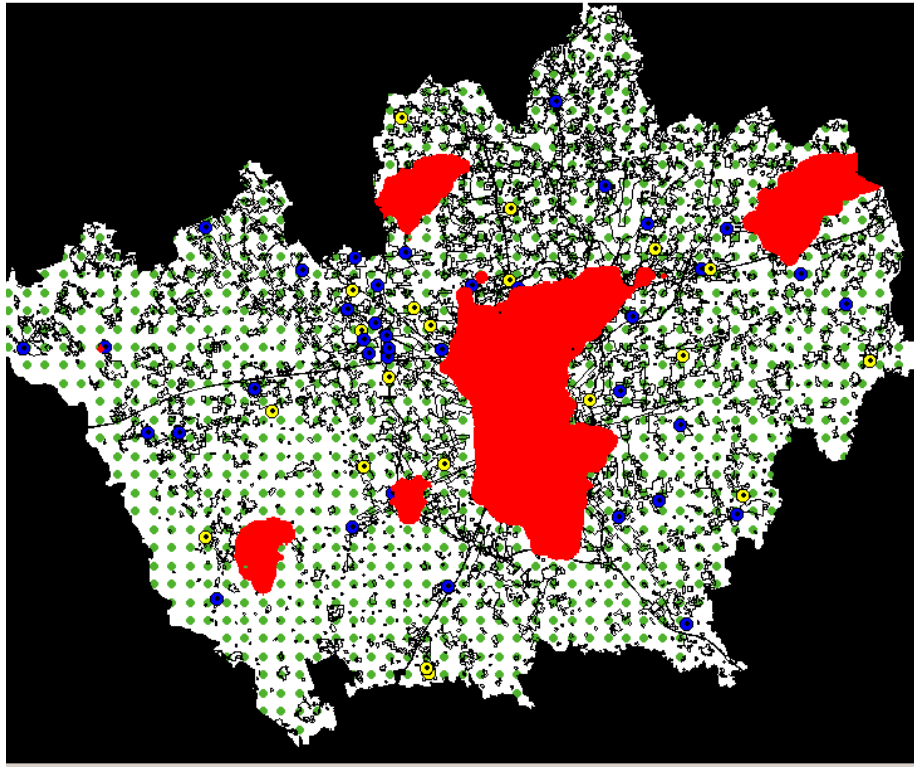
L'obiettivo di questo caso di studio consiste nel effettuare valutazioni quantitative al fine di potere innescare un mercato dei permessi di inquinare per i camini industriali che rilasciano benzene sul territorio provinciale.

In prima analisi occorre determinare il contributo accettabile in termini di concentrazioni al suolo di Benzene per le sorgenti industriali censite nella Provincia di Milano. Partendo dal limite maggiormente conservativo fissato da USEPA pari a 0.13-0.45 µg/m<sup>3</sup> a cui corrisponde un rischio per le popolazioni esposte non superiore a 1E-06 e valutato che le sorgenti industriali contribuiscono solo per un 15 % alla totalità delle emissioni di Benzene, il restante 85% e' infatti rilasciato dal traffico veicolare, si stimano di conseguenza valori di concentrazione limite per il benzene per le sorgenti industriali compreso tra 0.02 µg/m<sup>3</sup> e 0.067 µg/m<sup>3</sup>.

I camini industriali censiti che rilasciano Benzene sul territorio provinciale sono 140, di cui 5 con portate massiche superiori a 1 tonnellata/anno.

Sulla base delle ipotesi formulate in precedenza, si identificano le aree del territorio provinciale dove i livelli delle concentrazioni medie annuali (Short-term) sono superiori ai limiti definiti per il benzene (0.02 e 0.067 µg/m<sup>3</sup>) emesso dalle sorgenti fisse industriali.

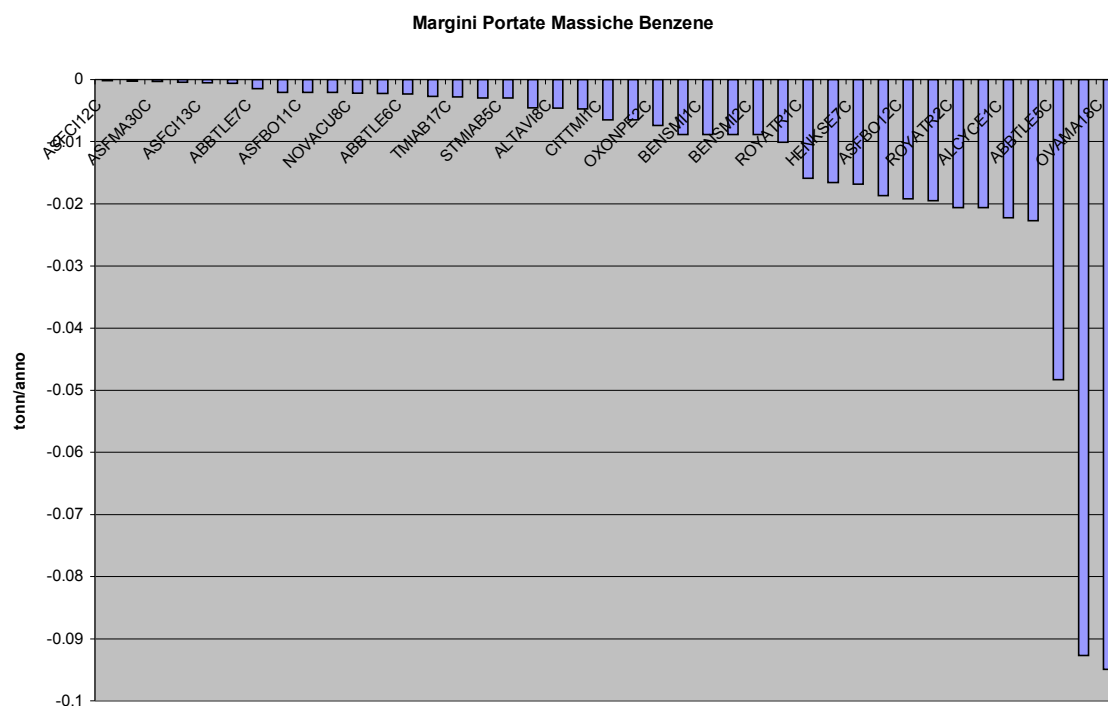
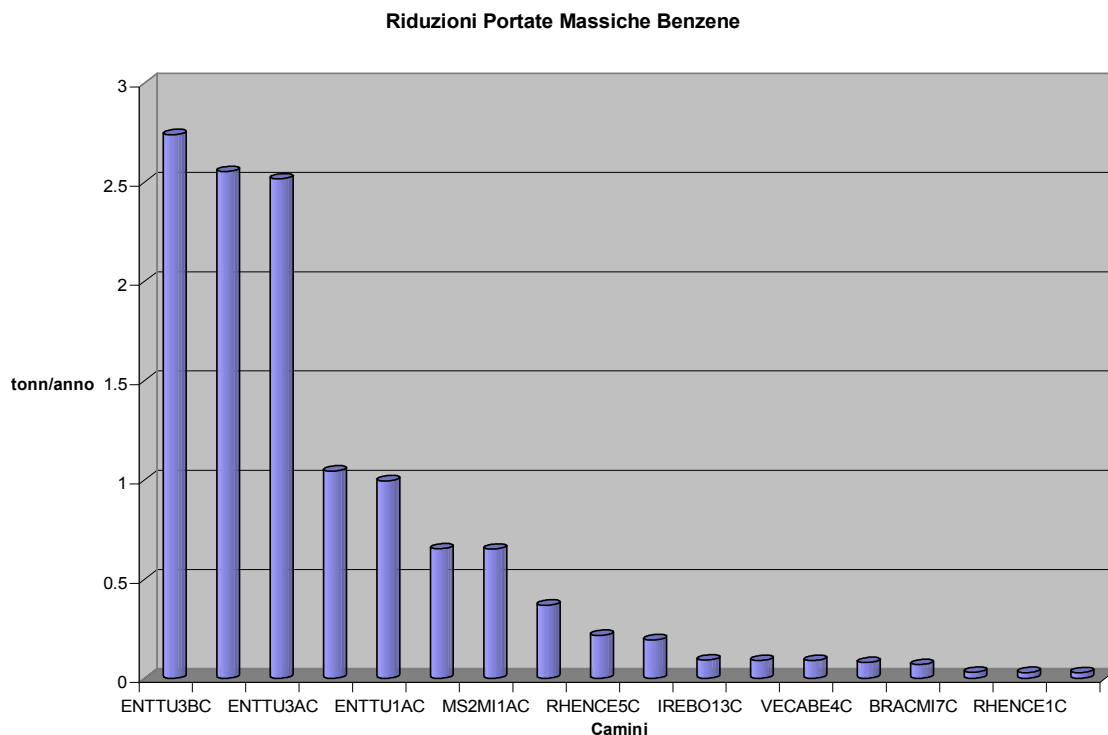
Nella Figura 5 sono colorate in rosso le aree in cui si ha un superamento del limite maggiormente conservativo di 0.02 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 5 – Aree in cui si ha il superamento del limite di  $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  – Short Term**

L'algoritmo implementato consente di stimare per ciascuna sorgente industriale il fattore di riduzione o il margine di vendita, Figura 6 , ipotizzando che ogni sorgente localizzata in un determinato punto del territorio provinciale abbia lo stesso diritto di inquinare delle altre sorgenti emissive.

La determinazione quantitativa dei margini di vendita o dei fattori di riduzione per ciascuna sorgente permette, oltre che innescare un mercato dei permessi di inquinare, al pianificatore provinciale di identificare le sorgenti maggiormente critiche al fine di salvaguardare la salute dei recettori più sensibili.



**Figura 6 – Fattori di riduzione e margine in tonn/anno per le sorgenti di benzene – scenario con limite pari a 0.02 µg/m3**

Il secondo obiettivo di questo caso di studio riguarda la valutazione quantitativa del rischio per la salute umana determinato dal rilascio continuo di alcuni composti cancerogeni dalle sorgenti industriali censite nell’inventario 2000.

Le valutazioni modellistiche relative al calcolo dell’esposizione e del rischio sono state eseguite con il software RISK-GIS implementato in STADERA.

Per ulteriori approfondimenti relativi alla procedura di valutazione dell'esposizione e del rischio (,) si rimanda al manuale utente del software RISK-GIS ().

Il calcolo dell'esposizione e del rischio riguarda l'inalazione di diossine (espressi come 2,3,7,8-TCDD TEQ equivalente) e benzene emessi dai camini industriali localizzati nel territorio provinciale. Nella figure che seguono sono riportati i valori del rischio cancerogeno determinato dall'inalazione di benzene per due differenti recettori umani: adulti residenti e bambini.

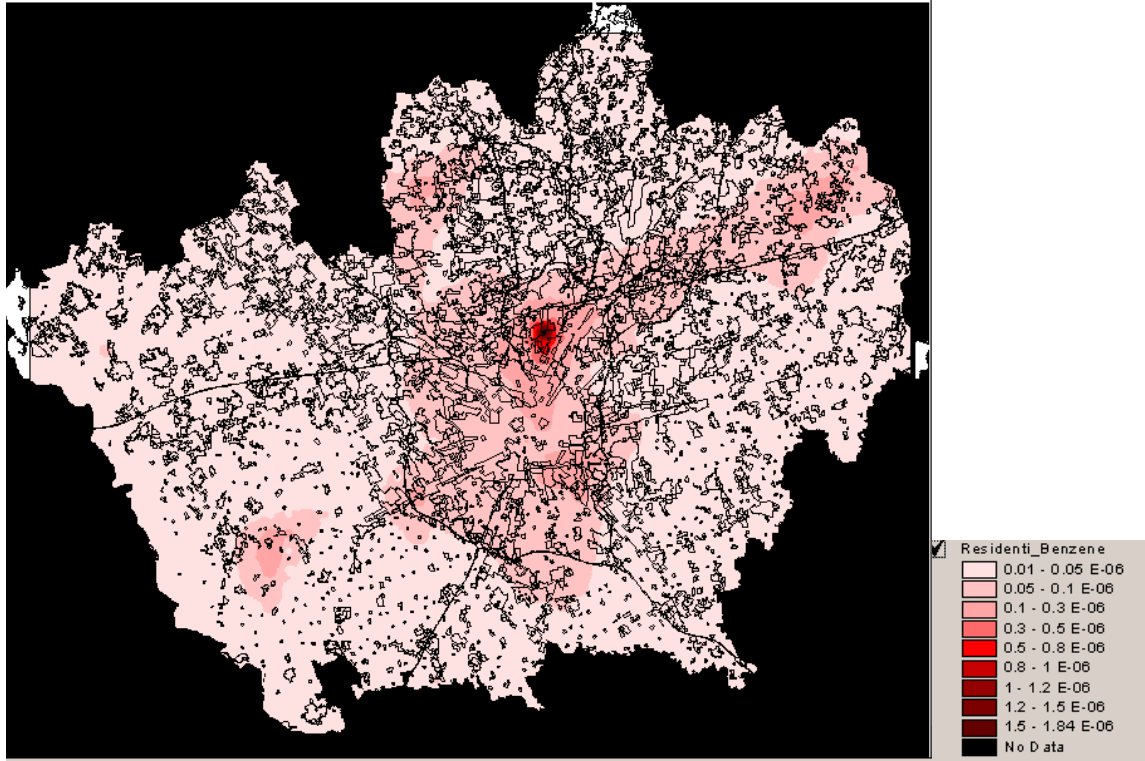


Figura 7 – Rischio Cancerogeno Residenti Adulti per Benzene

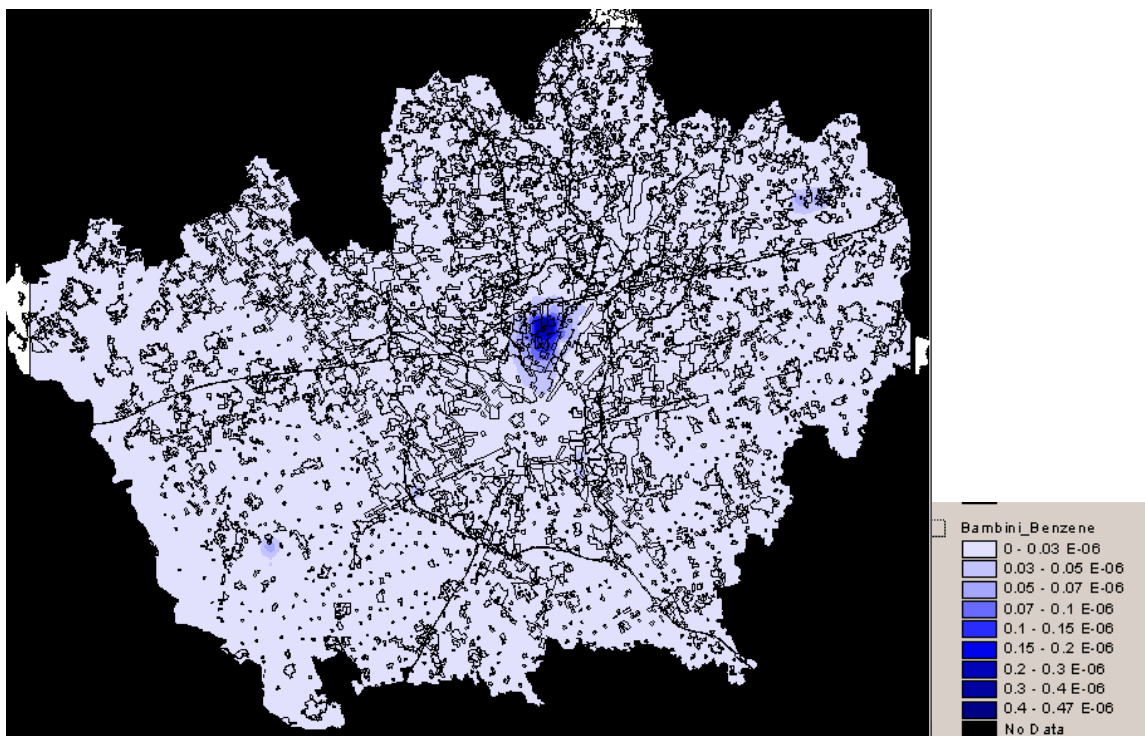


Figura 8 – Rischio Cancerogeno Residenti Bambini per Benzene

L'approccio risk-based permette al pianificatore di valutare l'effettivo rispetto delle salute umana per le popolazioni potenzialmente esposte a molteplici emissioni i diversi media ambientali, si superano in questo modo le limitazioni del classico approccio limti-based che non considera le diverse caratteristiche dei recettori e risulta applicabile a singolo composti senza valutare gli effetti sinergici delle sostanze sui rischi per la popolazione.

Come riportato qui di seguito é possibile arrivare ad una quantificazione del numero atteso di decessi ENCD (*Expected Number of Cancer Death*) utilizzando i dati relativi alla distribuzione della popolazione sul territorio provinciale dal censimento per l'anno 1991. Nella mappa sottostante e' riportato il numero di abitanti per ogni sezione di censimento

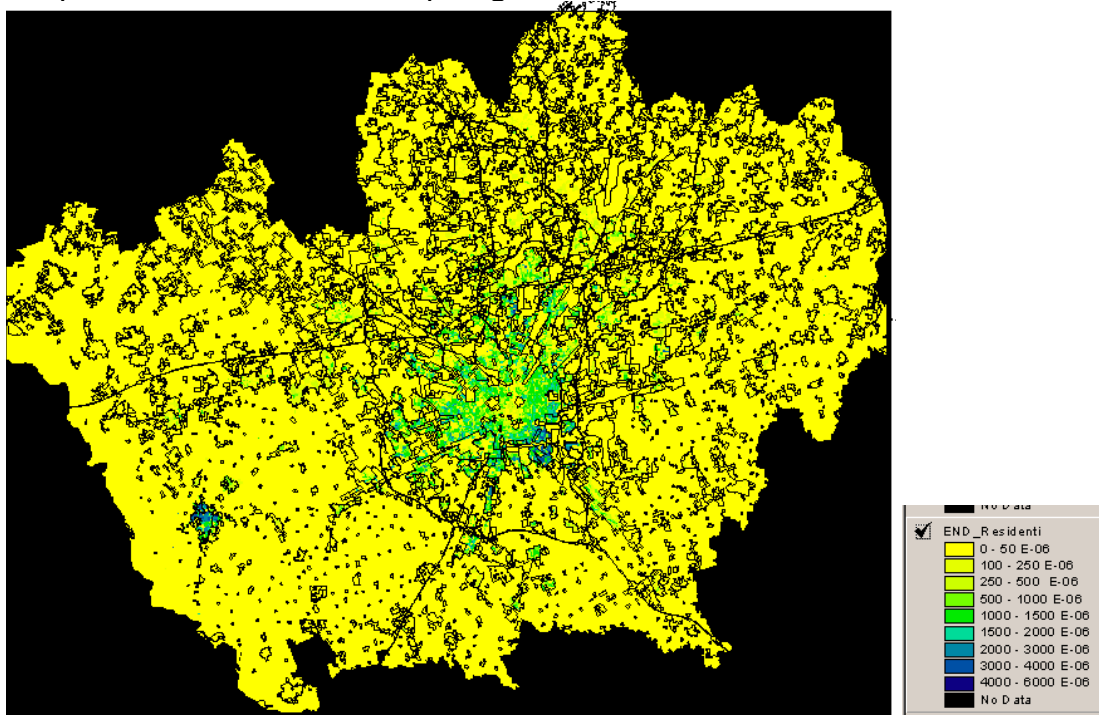


Figura 9 – numero di abitanti per sezione di censimento

### ***Case study: scelta localizzativa in base alla percezione della qualità urbana***

L'applicazione consiste nella valutazione della qualità urbana complessiva delle diverse parti del territorio Provinciale in base ai quattro criteri:

- inquinamento atmosferico (caratterizzato in termini di emissioni e non di concentrazioni a causa di limitazioni sui dati disponibili)
- inquinamento acustico da traffico veicolare
- distanza dalle aree verdi più vicine (intendendo con ciò i parchi urbani e le aree protette)
- distanza dai mezzi pubblici "veloci" (metropolitana e treno).

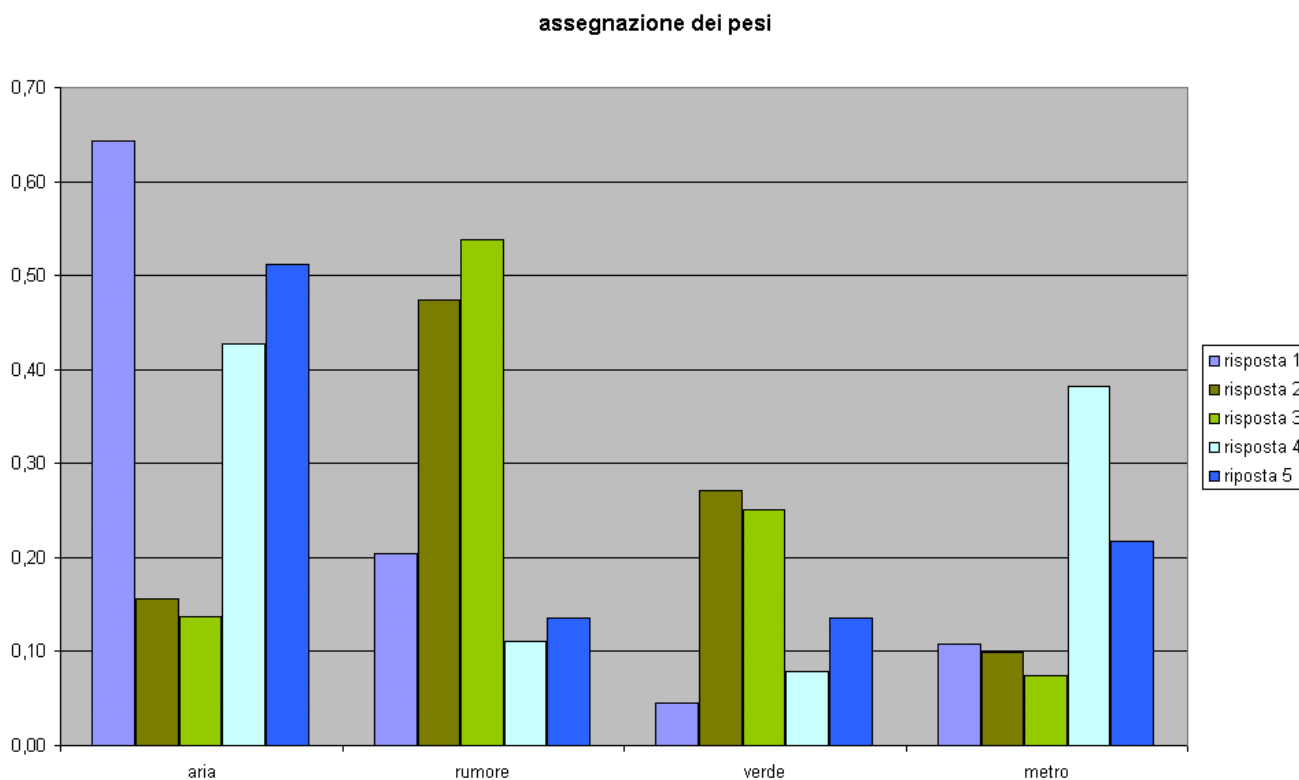
I primi due criteri sono ovvi. Per il terzo e il quarto, si è assunto che fosse preferibile *coeteris paribus* una localizzazione prossima ad aree verdi (per le potenzialità ricreative e di salubrità offerte da queste ultime) e facilmente accessibile con i mezzi pubblici. Poiché i mezzi pubblici di superficie sono da considerare presenti capillarmente su tutto il territorio, densamente urbanizzato, della Provincia, si è giudicato che l'accesso ad essi non costituisse un criterio discriminante fra un luogo e l'altro del territorio. Invece la metropolitana e la ferrovia sono da considerare mezzi "speciali" per la indipendenza del servizio dalle condizioni di congestione del traffico di superficie, e per la rapidità e frequenza degli spostamenti all'interno della rete metropolitana e ferroviaria.

Per condurre un'analisi multicriteriale, sovrapponendo i vari criteri, è necessario innanzitutto individuare indicatori appropriati per ciascun criterio. Nel seguito, si supporrà che gli indicatori siano rappresentati sotto forma di mappe raster (modello di dati a *gridcell*). Benché questo non sia strettamente necessario nelle operazioni di analisi multicriterio con dati geografici, è spesso molto utile lavorare con mappe di tipo raster perché il *map overlaying* è così estremamente semplificato dal punto di vista computazionale, soprattutto in casi con molti criteri.

L'analisi multicriteriale della qualità dell'ambiente urbano ha interesse per stabilire se e come il parco-progetti dell'Amministrazione pubblica effettivamente incontra le esigenze della popolazione. Ovviamente, come si vedrà, la struttura delle preferenze può essere molto varia, ed è compito dell'analisi valutarne le variazioni.

Inoltre, in base alla cartografia della qualità dell'ambiente urbano si può ottenere un'indicazione prestazionale del sistema della città metropolitana, valutando ad es. le percentuali di cittadini residenti nelle diverse condizioni di qualità della città.

I criteri di giudizio sono stati sottoposti ad un *focus group* di cinque persone rappresentative, e sono stati ricavati i punteggi di Figura 10.



**Figura 10 – andamento dei pesi nelle diverse risposte esaminate.**

Si evidenzia subito la presenza di due gruppi di posizioni: quella rappresentata dalle risposte 2 e 3, che considerano prioritari il basso livello di rumorosità e l'accesso al verde, e quella rappresentata dalle altre risposte che, pur nella variabilità degli interessi, annettono importanza dominante all'inquinamento atmosferico e considerano gli altri criteri come secondari (con l'eccezione forse della risposta 4 che attribuisce un peso significativo all'accesso alla metropolitana. Quindi, la scelta circa la qualità urbana è conflittuale se si considerano le due diverse posizioni. In generale, la valutazione ha prodotto una variabilità molto alta dei pesi, come risulta dalla tabella seguente. Prendendo valori medi arrotondati a buonsenso, è possibile enucleare le due posizioni contrapposte (denominate A e B) nelle due strutture di pesi riportate nella stessa tabella.

criterio	range		Pesi – posizione A (risp. 2 e 3)	Pesi – posizione B (altre risp.)
	min	max	media	media
aria	0,5	0,38	0,15	0,50
rumore	0,4	0,29	0,50	0,15
verde	0,2	0,16	0,25	0,10
metro	0,3	0,18	0,10	0,25

**Tabella 2 – range e media dei pesi; enucleazione delle due posizioni contrapposte.**

Ricorrendo alle tecniche di analisi multicriterio, è possibile osservare gli esiti decisionali dei due gruppi di opinioni contrapposti. Il sistema rende attualmente disponibili le tecniche di combinazione lineare, TOPSIS, OWA e di logica Fuzzy.

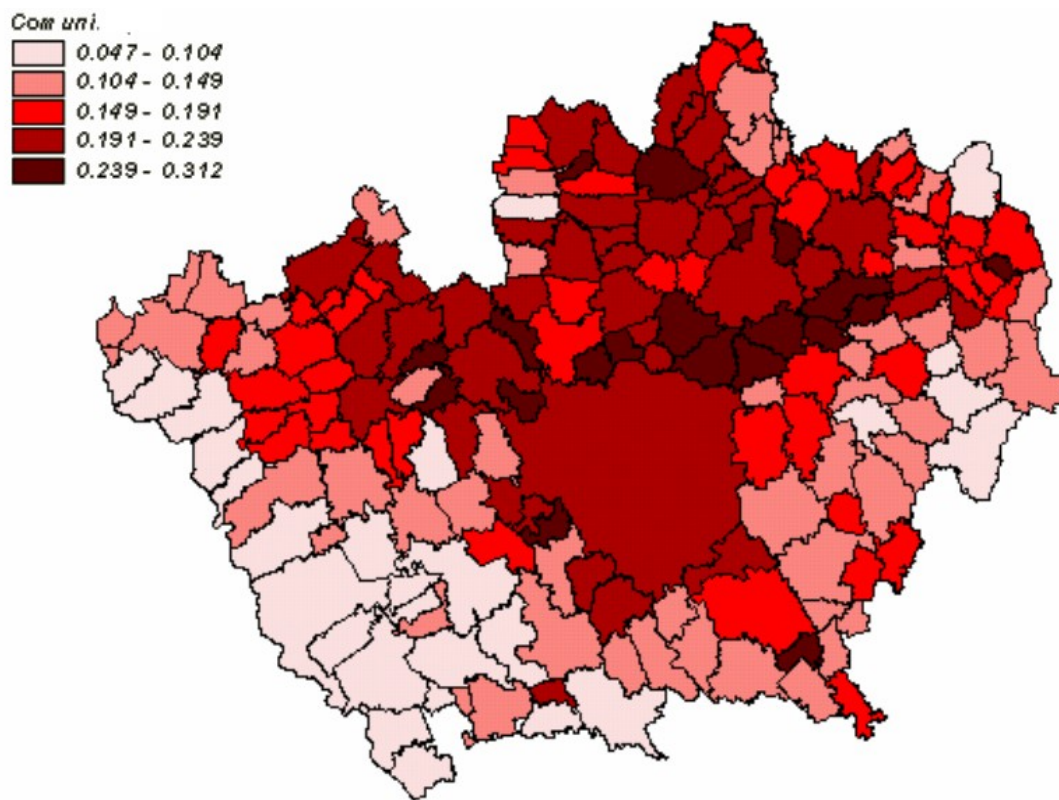
Secondo le preferenze della posizione di tipo A, la diversificazione di esigenze (e quindi di percezione della qualità urbana) è maggiore. Si verifica quindi una propensione per le aree che soddisfano in misura più omogenea tutti i criteri.

Secondo le preferenze della posizione di tipo B, si manifesta una maggiore focalizzazione delle esigenze di qualità nei confronti dell'inquinamento atmosferico. Questo porta a considerare preferibili le localizzazioni lontane dalle vie di maggiore traffico. In generale, per le preferenze della posizione di tipo B la qualità urbana appare più omogenea rispetto al caso della posizione di tipo A.

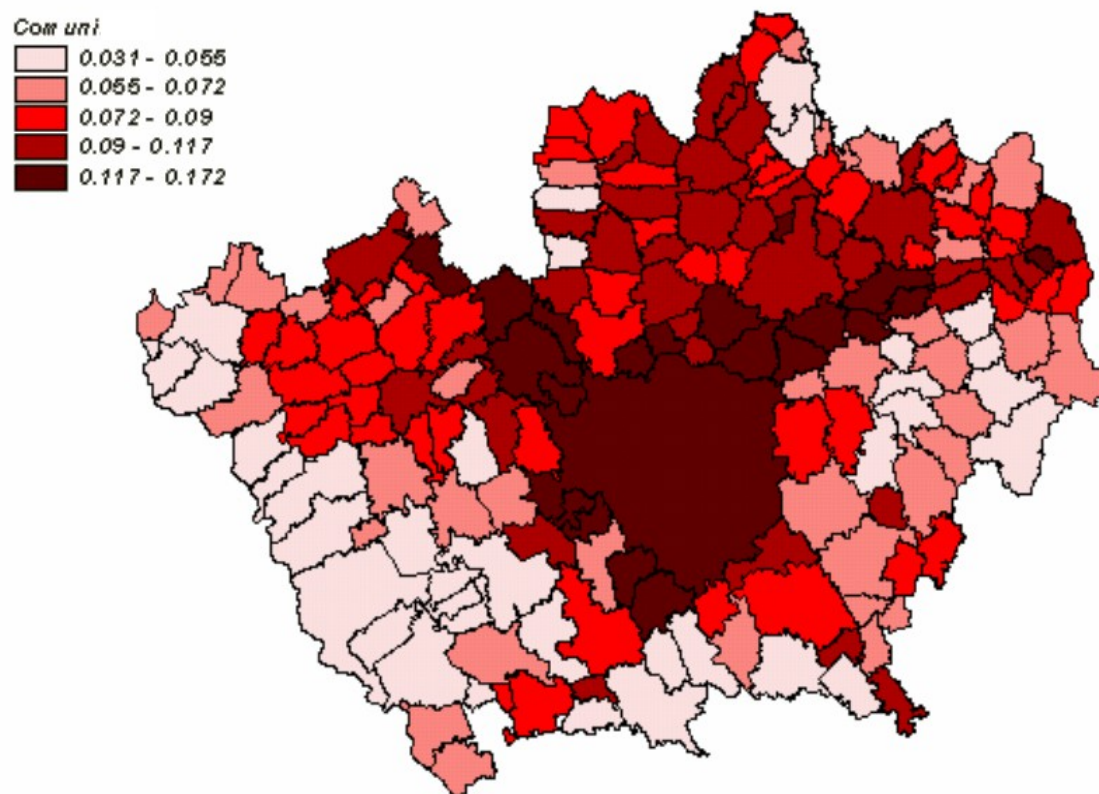
In base alle diverse strutture di preferenza, è possibile riportare i valori medi di qualità dell'ambiente urbano sia in forma distribuita (p.es. Figura 11), sia aggregati ad es. per comune. Le mappe di Figura 12, Figura 13 e Figura 14 mostrano i possibili orientamenti che il decisore potrebbe assumere nello stanziare, ad es., fondi per il miglioramento della qualità urbana, a seconda della propria struttura di preferenze. Nel caso specifico, i comuni con punteggio di criticità maggiore riceverebbero maggiore attenzione.



**Figura 11 – metodo TOPSIS, pesi da Posizione di tipo A**



**Figura 12 – valutazione delle priorità di intervento in base alle preferenze della risposta 3**



**Figura 13 -- valutazione delle priorità di intervento in base alle preferenze della risposta 1**

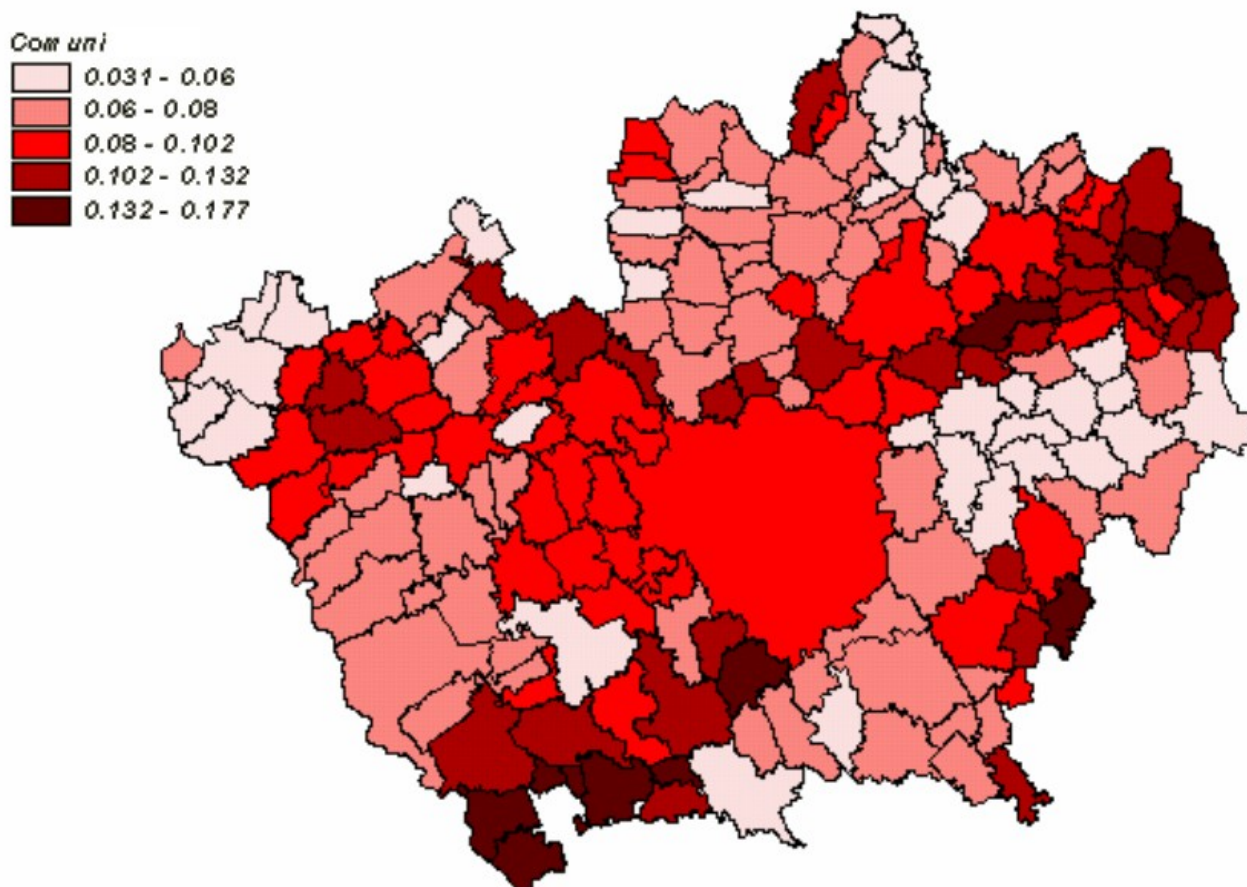


Figura 14 – valutazione delle priorità di intervento in base alle preferenze della risposta 4

## ***Conclusioni***

Il lavoro illustra un caso di integrazione di un sistema informativo ambientale con strumenti di supporto alle decisioni comprendenti modelli di simulazione e previsione, modelli di analisi del rischio per la salute umana, e strumenti di valutazione (tecniche di analisi multicriterio).

L'approccio, esemplificato da tre applicazioni dimostrative, ha consentito di verificare la fattibilità di un uso generalizzato degli strumenti di supporto alle decisioni, che configurano un futuro in cui passare dalla “banca dati” alla “banca scenari”, grazie a sistemi condivisi di valutazione delle conseguenze delle scelte di politica ambientale. In questo modo, il sistema informativo consente di proiettare le conoscenze disponibili verso la previsione delle conseguenze delle politiche, favorendo trasparenza ed efficacia delle scelte pubbliche. In questo modo si può organizzare una cornice che permetta di conferire basi tecniche solide e facilmente condivisibili ad iniziative progettuali/operative qual è l'Agenda 21 locale.

## ***Ringraziamenti***

Si ringrazia la società Galileo Ambiente di Milano, che ha condotto le analisi relative alla consistenza delle emissioni in atmosfera, per la collaborazione nella fornitura e discussione dei dati, nonché la società One Team di Milano che ha curato il web-GIS della Provincia. Si ringraziano inoltre le dott.sse Federica Facchino (ora funzionario alla Provincia di Biella) e Letizia Fumagalli (ora ricercatrice all'Università di Milano) per la discussione dei dati e degli aspetti tecnici delle problematiche relative all'acquifero.

## ***Bibliografia***

- [1] AIR-GIS Manuale Utente 2002. GECOSistema srl
- [2] Burrough, P.A., Mc Donnel, R., Principles of geographic Information Systems, Oxford University Press, Oxford, 1998
- [3] Crump, K.S., (1984), Journal Environmental pathol. Toxicol. Oncol., 1984, 5 pp.339;
- [4] Harbaugh et al. 2000. ManualeMdf : Modflow-2000, The U.S. Geological Survey Modularground-Water Model—User Guide To Modularization Concepts And The Ground-Water Flow Process, By Arlen W. Harbaugh, Edward R. Banta2, Mary C. Hill, Andmichael G. Mcdonald - U.S. Geological Survey
- [5] Malczewski, J., GIS and multicriteria decision analysis, John Wiley & sons, New York 1999 Burrough,
- [6] National Academy of Sciences (NAS) “Risk Assessment in the Federal Government: Managing the process” – National Academy Press. Washington, D.C. 1983
- [7] Pearce David W. – Turner R. Kerry, Economia delle risorse naturali e dell’ambiente, tr.it. Il Mulino, Bologna, 1991.
- [8] RISK-GIS. Manuale Utente 2002. GECOSistema srl
- [9] S. Bagli, G. Spadoni “Ehhra-gis: environmental and human health risk assessment using Gis” – Proc. of ESREL 2000, SRA-EUROPE annual conference, Edinburgh (UK) 2000, II: 1415-1420.
- [10]S. Bagli, G. Spadoni, “Ehhra-gis: un sistema informativo geografico per valutare il rischio per la salute umana”, Ingegneria Ambientale,– 31, 9, 2002.
- [11]SOIL-GIS Manuale Utente 2002. GECOSistema srl
- [12]University of California Davis “CalTOX, A Multimedia Total Exposure Model For Hazardous-Waste Sites” Part I: Executive Summary Lawrence Livermore National Laboratory 1994
- [13]USEPA “Exposure Factors Handbook” – Office of Research and Development – NCEA 1997
- [14]USEPA “Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities”, 1998.
- [15]USEPA “Integrated risk information system” – Database on the toxicology information network,1996.
- [16]USEPA “Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A)” - OERR. Washington, D.C. 1989
- [17]USEPA “Solid waste and Emergency Response. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities”, Volume I, II, III - 1998
- [18]USEPA “User’s Guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models for use in the multimedia, multipathway and multireceptor risk assessment (3MRA) for HWIR 99” – Office of solid waste, 1999.
- [19]Zheng et. al 1999, ManualeMT3D : MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User’s Guide

[20]Zheng et. al 2001, ManualeLMT6: Modflow-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—User Guide To The Lmt6 Package, The Linkage With MT3Dms For Multi-Species Mass Transport Modeling - U.S. Geological Survey

Per ulteriori approfondimenti si rinvia alla documentazione disponibile presso la Provincia di Milano (www. <http://temi.provincia.milano.it/ambiente/obiettivo/stadera.shtml>).