

## GEOBASI: il Database Geochimico della Regione Toscana

Brunella Raco (\*), Antonella Buccianti (\*\*\*\*), Manuela Corongiu (\*\*\*),  
Guido Lavorini (\*\*\*\*\*), Patrizia Macera (\*\*\*\*\*), Francesco Manetti (\*\*\*),  
Riccardo Mari (\*\*), Giulio Masetti (\*), Stefano Menichetti (\*\*\*\*\*), Barbara Nisi (\*),  
Giuseppe Protano (\*\*\*\*\*), Stefano Romanelli (\*\*\*)

- (\*) CNR-IGG, Ist. Geoscienze e Georisorse, via Moruzzi 1, Pisa tel.0506212320, b.raco@igg.cnr.it  
 (\*\*\*) C. LaMMA, CNR Ibimet, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino tel.0554483029, mari@lamma.rete.toscana.it  
 (\*\*\*\*) C. LaMMA, via Madonna del Piano 10, Sesto Fiorentino tel.0554483075 corongiu@lamma.rete.toscana.it  
 (\*\*\*\*\*) Università Firenze, Dip. Scienze della Terra, via La Pira 4, Firenze tel.0552757493 antonella.buccianti@unifi.it  
 (\*\*\*\*\*) Università Pisa, Dip. Scienze della Terra, via Santa Maria 53, Pisa, tel.0502215792, macera@dst.unipi.it  
 (\*\*\*\*\*) Università Siena, DSFTA, via Laterina 8, Siena tel.0577233950, giuseppe.protano@unisi.it  
 (\*\*\*\*\*) Regione Toscana, SITA, via di Novoli 26, Firenze, tel.0554383955, guido.lavorini@regione.toscana.it  
 (\*\*\*\*\*) ARPAT SIRA, via N. Porpora 22, Firenze, tel.0553206333 s.menichetti@arpat.toscana.it

### Riassunto

In questo lavoro vengono presentate le varie fasi di attività svolte da un gruppo di lavoro costituito da ricercatori delle tre università regionali (Firenze, Pisa e Siena), del CNR di Pisa (Istituto di Geoscienze e Georisorse), dell'ARPAT, del Consorzio LAMMA e del Sistema Informativo Territoriale ed Ambientale della Regione Toscana, che hanno condotto alla costruzione del Database Geochimico regionale. Tale banca dati si propone come strumento fruibile ed accessibile a differenti livelli di utenza, i cui contenuti possano essere liberamente interrogabili e scaricabili oltre che implementabili nel tempo, secondo regole e standard condivisi. L'obiettivo è quello di fornire un importante riferimento conoscitivo nel campo delle informazioni geochimiche relative alle varie matrici geoambientali nel territorio toscano. Nella prima fase di progetto le attività sono state orientate non solo a favorire la piena fruizione di dati disaggregati già disponibili tramite una potente interfaccia *webgis*, ma anche ad individuare l'utilizzo di strumenti grafici e numerici di analisi statistica mediante i quali: 1) comprendere la variabilità del fenomeno oggetto di studio nella sua caratterizzazione spaziale; 2) individuare la posizione geografica di valori anomali; 3) confrontare gli esiti di diverse metodologie analitiche sperimentali per uno stesso elemento e/o specie chimica; 4) estrarre dati relativi ad un determinato periodo temporale e/o una determinata area e 5) verificare l'impatto della presenza di informazione numerica con valore inferiore al limite di rilevabilità strumentale. Ulteriori sviluppi del progetto dovranno prevedere la definizione di regole e strumenti finalizzati ad una continua e progressiva implementazione controllata del Database, anche in previsione di un utilizzo di nuove informazioni provenienti da soggetti esterni al gruppo di lavoro.

### Abstract

In this study the new Regional Geochemical Database (RGD) is presented and illustrated in the framework of a joint collaboration among the three Tuscan universities (Florence, Pisa and Siena), CNR-IGG (Institute of Geosciences and Earth Resources of Pisa), ARPAT (Regional Agency for the Environmental Protection), LAMMA (Environmental Modeling and Monitoring Laboratory for Sustainable Development) Consortium and S.I.R.A. (Territorial and Environmental Informative System of Tuscany). This database represents an important tool that can be useful and fruitful for different users (e.g. institutional, public and private companies), whose contents can freely be downloaded and queried. Real-time implementations can be provided according to shared and

defined rules and standards. The main goal is that to provide a cognitive state of the Tuscan territory where geochemical data relative to the different environmental matrices are contained.

The first phase of the project was aimed to promote the use of the geochemical data already available through a powerful webgis interface and to identify the graphical-numerical criteria, which in a such complex database can be able to: i) recognize the spatial variability in the investigated context, ii) highlight the geographic location of anomalous cases, iii) compare the results of different analytical methodologies applied for the determination of the same element and/or chemical species, iv) extract the geochemical data related to a specific monitoring and/or area, and finally v) recover information about those data, which are below the detection limit.

Further developments of this project will be focused on the definition of rules and standardized methods in a way that the RGD can also be implemented by other users not presently part of the working group.

### Introduzione

La valutazione del fondo naturale geochimico (*geochemical baseline*) è uno strumento essenziale ogni qual volta si voglia comprendere se le variazioni di concentrazione di una determinata specie chimica in una data matrice siano legate a processi naturali o dovute a fenomeni di contaminazione e quindi estremamente utile per guidare decisioni politiche concernenti problematiche ambientali (bonifica di siti contaminati, qualità e potabilità delle acque, etc.).

Negli ultimi 20 anni su questo tema si è focalizzata l'attenzione degli enti preposti al controllo ambientale in risposta al crescente bisogno di introdurre regole efficaci per riconoscere, prevenire, ridurre e contrastare l'inquinamento chimico dell'ambiente. La tutela delle risorse idriche, la loro corretta gestione, la pianificazione delle attività antropiche nel territorio regionale e le azioni di bonifica eventualmente necessarie per riportare le concentrazioni di possibili contaminanti entro valori accettabili, non possono prescindere dalla conoscenza dei valori del fondo geochimico naturale, soprattutto per quanto concerne gli elementi e le specie potenzialmente pericolose per gli esseri viventi. Oltre alle opportune metodologie di tipo statistico (quali, ad esempio, i diagrammi di probabilità e le tecniche di *partitioning*) e geostatistico (quali, ad esempio, il variogramma e gli interpolatori spaziali), la definizione delle *geochemical baselines* (e.g. Gałuszka 2005, 2006, 2007) è il fondamento della conoscenza delle caratteristiche geochimiche e geolitologiche dell'area di studio. La significatività dei valori così definiti è strettamente dipendente anche dai metodi di campionamento, di preparazione dei campioni e di determinazione dei vari componenti chimici inorganici.

Sebbene l'importanza di definire in modo corretto i valori di fondo sia nota a tutti gli operatori del settore geoambientale, attualmente le concentrazioni che definiscono la soglia di contaminazione (D.Lgs. 152/06) sono state definite a livello nazionale e derivano dal recepimento di direttive europee, che a loro volta spesso ricalcano la legislazione di paesi come Stati Uniti d'America e Canada.

E' abbastanza evidente che, a una scala di maggior dettaglio, tali valori risultino poco significativi nel contesto delle specificità geologiche e geochimiche di più limitate porzioni di territorio. Per tale motivo e per rispondere alle criticità e necessità delineate, la Regione Toscana ha costituito un gruppo di lavoro nel quale, esperti in geochimica, geochimica applicata e computazionale, coadiuvato da geologi e idrogeologi provenienti da vari enti di ricerca presenti sul territorio regionale (Università di Firenze, Università di Pisa, Università di Siena e Consiglio Nazionale delle Ricerche) con il compito di individuare metodologie condivise riguardanti sia il campionamento e l'analisi, sia l'elaborazione e l'interpretazione dei dati geochimici nel contesto del sistema naturale definito. Le risultanze di progetto emerse sono evidenti nella progettazione di una banca dati ad hoc inclusi i servizi informatici di consultazione e di aggiornamento associati e tale ruolo è stato assolto dal Consorzio LaMMA.

## Obiettivi

La banca dati si propone come strumento, fruibile ed accessibile a differenti livelli di utenza, i cui contenuti possano essere liberamente interrogabili e scaricabili e che sia implementabile nel tempo secondo regole e standard condivisi. L'obiettivo è quello di fornire un importante riferimento conoscitivo nel campo delle informazioni geochimiche relative alle varie matrici geoambientali, campionate nel territorio toscano. Lo sforzo in questa prima fase (vedi Fig. 1) è stato orientato non solo a favorire la piena fruizione dei dati disaggregati già disponibili, sulla base di una potente interfaccia webgis, ma anche verso l'utilizzo di strumenti grafici e numerici di analisi statistica mediante i quali:

- comprendere la variabilità del fenomeno oggetto di studio nella sua caratterizzazione spaziale;
- individuare la posizione geografica di valori anomali;
- confrontare gli esiti di diverse metodologie analitiche sperimentali per uno stesso elemento e/o specie chimica;
- estrarre dati relativi ad un determinato periodo temporale e/o una determinata area verificando la presenza di informazione

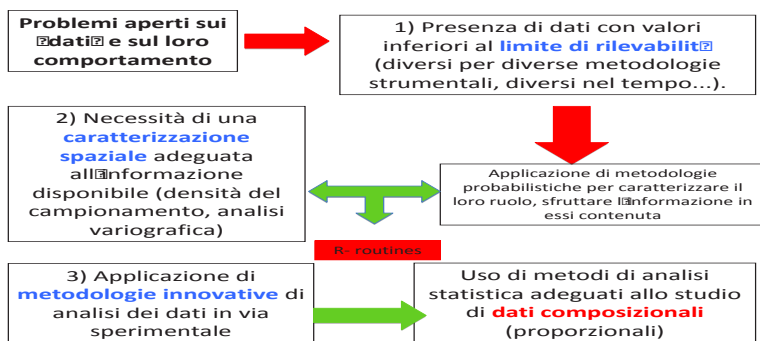


Figura 1 - Comportamento dei dati geochimici.

La banca dati geochimica è articolata sulle matrici ambientali: suolo, sedimenti fluviali, acque di scorrimento superficiale, acque sotterranee. Su tale banca dati sono ancora in corso le successive attività di sviluppo del progetto, ossia il modello geochimico concettuale di un'area scelta come Pilota (pianura costiera e bacino idrografico di Follonica - Scarlino, più oltre specificato) ottenuta attraverso una caratterizzazione grafico-numerica innovativa e la definizione del protocollo metodologico operativo per la determinazione del valore di fondo.

In tale contesto il progetto si prefigge di proseguire le attività iniziate con il Progetto Geobasi - Toscana (Piano Regionale di Azione Ambientale – PRAA 2009; Obiettivo E – Tutela della Risorsa Idrica), e si pone l'obiettivo di sviluppare un protocollo metodologico per la definizione dei valori del fondo naturale geochimico. La strutturazione ed il popolamento della banca dati geochimica della Regione Toscana e lo studio sperimentale riguardante un'area pilota ne rappresentano i prodotti principali. Le caratteristiche di condivisione e fruibilità da parte di differenti soggetti rappresentano, altresì, un obiettivo fondamentale, intendendo con ciò di poter intercettare gli esiti analitici di campionamenti, nel momento in cui vengono resi disponibili e di poterli rendere patrimonio comune di conoscenza del territorio. Nello specifico, le informazioni rese disponibili nell'ambito di questo progetto sono:

- I punti di prelievo georeferenziati;
- I metodi di campionamento e di analisi secondo protocolli standard;
- Gli esiti analitici.

Inoltre, come obiettivi secondari, sono stati definiti i processi di transizione del pregresso sul nuovo ed i formati di interscambio e di caricamento delle nuove informazioni secondo modalità standard.

In quest'ottica di integrazione e condivisione sono stati presi in considerazione i contenuti provenienti da ulteriori ambiti, quali quello pedologico, cosicché la banca dati possa recepire le analisi necessarie al monitoraggio dei suoli. Analogamente sono state valutate (ed ove possibile integrate) le istanze proposte da ARPAT in merito alle modalità di controllo sull'inserimento dei dati con sistemi supportati da analisi statistiche.

## Metodi

### Recupero del pregresso

Uno dei requisiti fondamentali della nuova banca dati ha riguardato la derivazione delle informazioni presenti nelle pregresse banche dati, mantenendo memoria dell'origine e delle modalità di recupero nei metadati corrispondenti. La basi delle informazioni pregresse fanno riferimento essenzialmente ai seguenti archivi:

- Archivio Geochimico Nazionale
- Geobasi – Toscana
- MAT (Monitoraggio Acque sotterranee, aquiferi) e MAS (monitoraggio acque superficiali interne) di ARPAT

### Aggiornamento multifonte

Un secondo requisito di cui si è tenuto conto nelle fasi progettuali ha riguardato la pianificazione delle modalità di aggiornamento in continuo e da fonti differenti (Fig. 2). A tal proposito sono state approfondite anche le metodiche di orientamento all'integrazione dei dati esistenti con funzioni di controllo della correttezza semantica e procedurale dei nuovi dati da inserire a monte delle operazioni di *download* e come controlli e verifiche di compatibilità dei dati coi dati esistenti.

### Accessibilità ed analisi

Tali modalità di verifica e validazione dei contenuti sono comunque sinergici rispetto alle metodologie di accesso ed interrogazione di tipo statistico della banca dati messi a disposizione nell'interfaccia web di consultazione. I servizi web sviluppati di fruibilità della banca dati sono appunto il terzo requisito imposto nelle fasi di progettazione nei termini di fruibilità e potenzialità di analisi sui dati anche da parte di utenti, *client* con modalità differenti dal *database administrator*. In questo senso, peraltro, è richiesta una conoscenza specifica e di merito in ambito geochimico. A questa fase si accompagnano uno specifico protocollo e le linee guida per l'inserimento.

Infine la strutturazione delle dimensioni temporali e spaziali sono integrate nella banca dati costituendone le caratteristiche di accuratezza e scalabilità delle informazioni da gestire/analizzare.

È stato realizzato un sistema standard basato su standard OGC<sup>1</sup> per ricerca, interrogazione, visualizzazione etc. dei dati inseriti, integrato anche da sistemi più complessi come quelli di inserimento nuovi dati attraverso procedure di controllo limitando al minimo gli errori di upload.

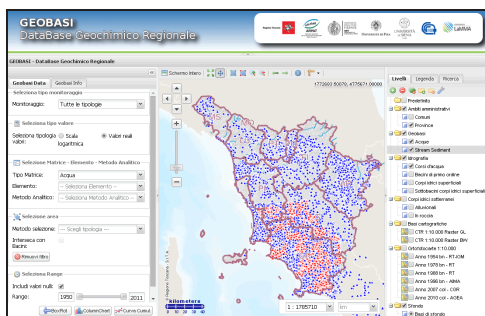


Figura 2 - Interfaccia utente.

<sup>1</sup> [www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)

È in fase di approfondimento la possibilità di sviluppo di WPS<sup>2</sup> (Web Processing Service) per l'elaborazione dei dati quali ad esempio la spazializzazione di una variabile. La realizzazione di tale sistema è fondamentale rispetto alle prerogative di progetto, rappresentando lo strumento che consente di validare i dati disponibili, effettuare confronti, verificare la copertura spaziale dell'informazione, individuare errori e/o omissioni ed implementare le conoscenze con successive integrazioni, orientando infine la progettazione verso la definizione delle strategie di nuove analisi. Come aspetto caratterizzante sono stati distinti i dati rilevati da quelli spazializzati o ottenuti per sovrapposizione con altre banche dati geografiche. Il *core* è rappresentato dalle sole analisi chimiche mentre tutte le informazioni derivate sono di tipo qualitativo e funzionali all'inquadramento del contesto delle analisi (Fig.3).

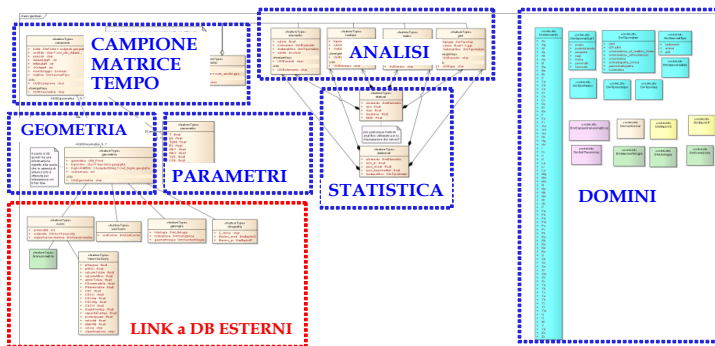


Figura 3 - Schema database.

#### Interoperabilità delle infrastrutture dati

L'interfaccia web è un esempio di applicazione del Sistema Federato Toscano (Fig. 4), che richiamando i servizi web messi a disposizione da Regione Toscana, espone i servizi e le elaborazioni statistiche di geobasi utilizzando gli stessi dati di Geoscopio<sup>3</sup> Regione Toscana (ortofoto, limiti comunali, etc).

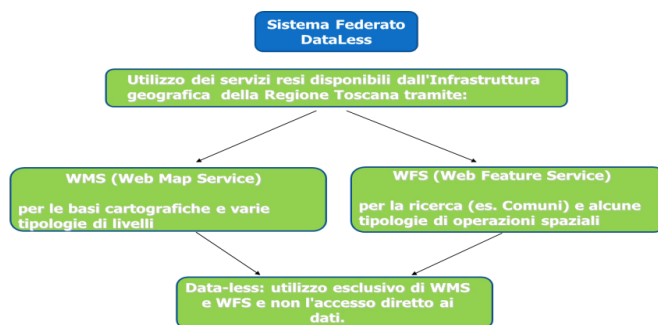


Figura 4 □ Sistema federato dataless con servizi di Regione Toscana.

<sup>2</sup> [www.openeospatial.org](http://www.openeospatial.org)

<sup>3</sup> <http://www.regione.toscana.it/~geoscopio>

Interconnessione tra repository DB e strumenti/servizi WEBGIS (Fig. 5)

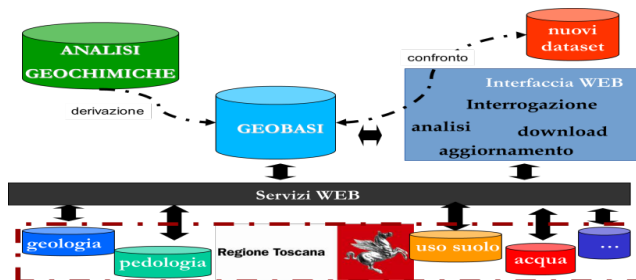


Figura 5 - Banca dati e strumenti WEB.

Integrazione tra database geografici e strumenti di elaborazione statistica.

Una volta che i dati sono immagazzinati in un repository adeguato e facilmente interrogabili è possibile prevedere l'uso di varie tecniche di analisi statistica grafico-numerica di natura esplorativa che consentano di collegare i tenori di elementi e specie chimiche con la loro localizzazione spaziale. Ciò al fine di collegare le abbondanze chimiche in varie matrici geologiche con la geologia dell'area investigata, l'uso del suolo e/o qualsiasi altra informazione utile ai fini interpretativi dei risultati analitici rilevati. Tra le analisi esplorative sviluppate nella prima fase del progetto, vi è la possibilità di visualizzare la distribuzione dei dati per una specifica matrice geologica e per variabili selezionate (con ulteriori vincoli sull'intervallo temporale se richiesto) mediante la costruzione dell'istogramma di frequenza, del diagramma a scatola e della curva cumulativa (Fig.6).

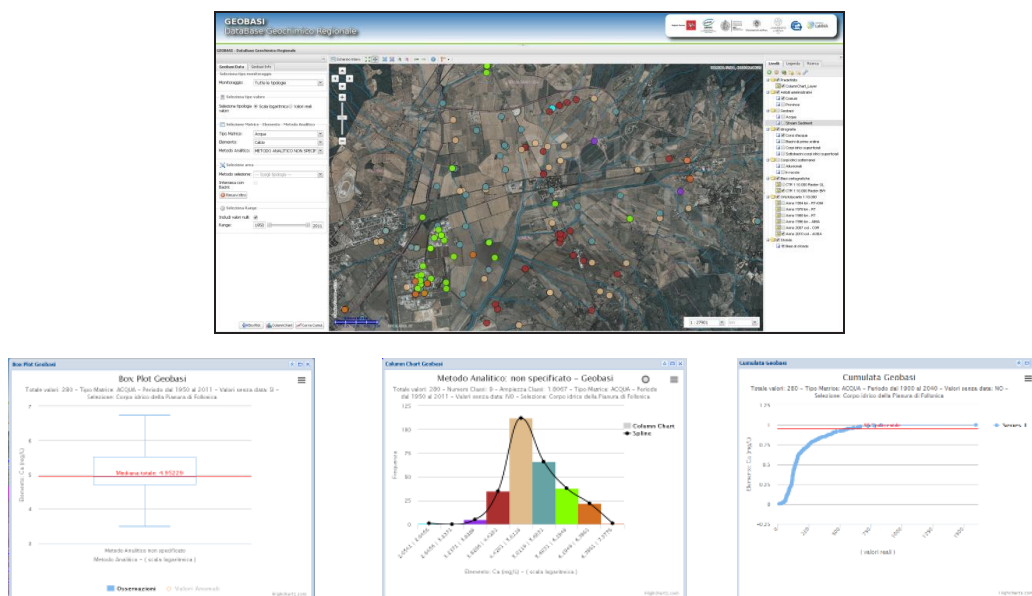


Figura 6 □ Interazione strumenti di elaborazione statistica in ambiente WebGIS.

In ognuno dei casi indicati vi è la possibilità di collegare intervalli di valori o singole abbondanze con la diffusione e/o localizzazione geografica. Successivi sviluppi prevedono l'implementazione di questa fase con routines disponibili nel software R così come l'applicazione di metodologie geostatistiche. Il bacino pilota scelto servirà a questo proposito per verificare l'efficacia e la potenzialità di diversi metodi di analisi, nonché di affrontare la problematica della natura compositazionale dei dati ed i suoi effetti sulle analisi statistiche classiche (Aitchison, 1986).

## Area Pilota Corpo idrico di Follonica

Lo studio sull'area "pilota" consentirà, una volta raccolti tutti i dati pregressi e le informazioni disponibili di tipo geologico, idrogeologico e geochemico, di stabilire eventuali carenze del quadro conoscitivo e le priorità di intervento a riguardo. La seconda fase del progetto, prevede l'integrazione dei dati geochemici dello specifico corpo idrico, mediante il campionamento e l'analisi chimica di nuovi punti d'acqua, sia superficiali che sotterranei (fiumi, sorgenti, pozzi). L'area della pianura costiera e il bacino idrico di Follonica-Scarolino (Fig.7) è stata selezionata come area pilota, data la compresenza di fonti di contaminazione puntuali e diffuse sia antropiche che naturali.

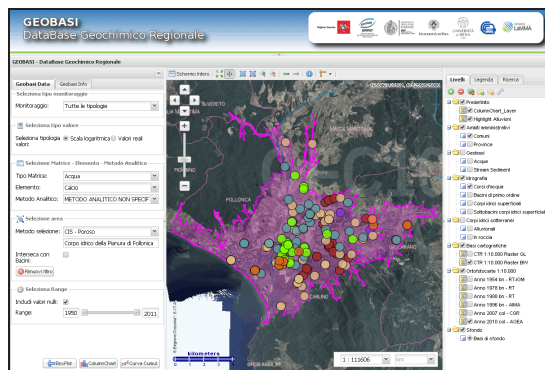


Figura 7 - Area pilota Corpo idrico della pianura di Follonica.

Tali caratteristiche infatti complicano molto la valutazione dei valori di fondo naturali, e la loro determinazione deve essere effettuata tenendo conto della distribuzione spaziale delle potenziali singole sorgenti inquinanti e quindi deve essere eseguita attraverso metodologie non solo di tipo statistico ma anche di tipo geostatistico (Fig.8). Sulla distribuzione spaziale dei nuovi dati raccolti, opportunamente inseriti nel *database*, saranno quindi implementate le metodologie per la mappatura geochemica. La terza ed ultima fase del progetto prevede la stesura di un protocollo metodologico per la valutazione del valore di fondo a partire dalla fase del campionamento e dalla scelta della distribuzione spaziale dei punti di misura.

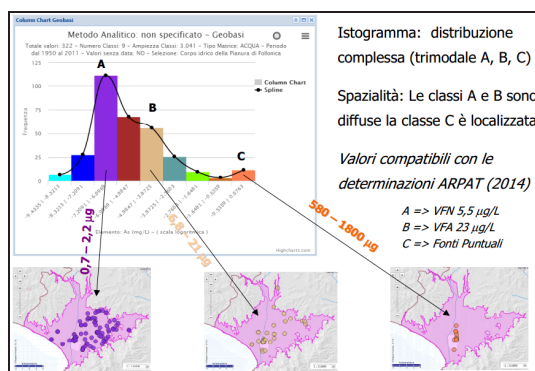


Figura 8 - Esempio di applicazione degli strumenti Geobasi nell'area pilota.

Il bacino idoneo è stato individuato sulla base delle seguenti caratteristiche:

- bacino idrografico non troppo esteso;
- natura geologica per la quale sia possibile caratterizzare, al fine della modellizzazione, i processi di interazione acqua-roccia in grado di modificare la composizione dei fluidi naturali;

- possibilità di individuazione del sistema geochimico e delle sue componenti alla scala del bacino, con particolare riguardo al bilancio di massa degli elementi e delle specie chimiche;
- presenza di fenomeni sia naturali che antropici che alterino i valori di specie chimiche (e.g. sorgenti calde, drenaggio acido di miniera, utilizzo e dispersione di scarti di lavorazione della pirite) presenza di suoli sviluppati;
- presenza di un campo pozzi per lo sfruttamento dell'acqua a fini potabili;
- presenza di informazioni relative a studi pregressi concernenti l'inquadramento geologico e idrogeologico generale.

### Sviluppi futuri

Come già detto, tra gli obiettivi della banca dati vi è anche quello di costituire il supporto informativo necessario da utilizzare come base conoscitiva per la definizione di un protocollo operativo finalizzato alla determinazione del valore di fondo, prevedendone la sperimentazione sul campo nelle aree d'interesse selezionate, prima di estenderlo all'intero territorio regionale. Tale protocollo, riguarderà non solo le concentrazioni totali dei costituenti chimici principali (elementi maggiori), ma anche alcuni elementi in traccia di particolare rilevanza ambientale (es. As, Cr, Hg, Sb, U) in varie matrici di interesse (per es., acque superficiali e sotterranee, sedimenti fluviali e suoli). In tale contesto, particolare rilevanza sarà lo sviluppo di metodologie grafico-numeriche innovative per dati composizionali al fine di tener conto della geometria del loro spazio campionario, paragonando i risultati con quelli ottenibili su base statistica classica. La scelta delle specie chimiche da analizzare sarà valutata in funzione dell'interesse degli Enti "sensibili" (Regione Toscana, ARPAT, AATO) e delle risorse economiche realmente disponibili.

### Riferimenti bibliografici

- Aitchison J. (1986), "The statistical analysis of compositional data" *Reprint by The Blackburn Press*, New Jersey, USA, 2003.
- Buccianti A., Macera P., Marini L., Protano G., Raco B. (2011), "Progetto: GeoBasi – Toscana" *Piano Regionale di Azione Ambientale PRAA 2009 Obiettivo E Tutela della Risorsa Idrica*, Relazione Finale, Dicembre 2011. Pag. 1-176
- Bottaini N.J., Buccianti A., Di Lella L.A., Macera P., Marini L., Nannoni F., Protano G., Raco B. (2011), "Testing of innovative approaches in geochemical mapping: the experience of the Geobasi Toscana project", *VIII forum Italiano di Scienze della Terra, Geoitalia 2011, Torino*, 19-23. Poster. *Epitome 4*, 04-0330, pag. 90
- Buccianti A., Nisi B., Raco B. (2014), "Compositional background for groundwater chemistry: the experience of the Geobasi project, Tuscany region (central Italy)", *GeoMap Workshop proceeding 17th-20th June, Olomouc, Czech Republic*.
- Gałuszka A. (2005), "The chemistry of soils, rocks and plant bioindicators in three ecosystems of the Holy Cross Mountains, Poland", *Environ. Monit. Assess.*, 110, 55–70.
- Gałuszka A. (2006), "Methods of determining geochemical background in environmental studies. Problems of landscape ecology", *Polish Association of Landscape Ecology*, Warsaw (in Polish with English summary) XVI/1, 507–519.
- Galuszka A. (2007) "A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland", *Environ. Geol.*, 52, 861–870.
- Giannecchini S., Mari R., Corongiu M., Bottai L., Fibbi L., Pasi F. (2013), "Geoportale del Consorzio LaMMA", *Rivista Geomedia*: 5: 12-16 - ISSN 1128-8132
- Corongiu M., Bottai L., Brandini C., Gozzini B., Grasso V., Ortolani A., (2013), "A complex multidisciplinary approach between research and services", *INSPIRE Conference*, June 23-27, 2013, Florence, Italy. POSTER