

## STEFANIA GENNARO ALBERTO

Titolo della relazione della Prova Finale:

<b>MODELLAZIONE IDROGEOCHIMICA PRELIMINARE DELLA CONTAMINAZIONE DA CROMO ESAVALENTE NELLE ACQUE SOTTERRANEE DELLA PIANA DI AOSTA</b>	
Relatore:	<b>Prof. Tullia Bonomi</b>
Correlatori:	<b>Dott. Fumagalli Maria Letizia, Dott. Capodaglio Pietro, Dott. Simonetto Fulvio, Dott. Rotiroti Marco</b>

### Sintesi della relazione:

Il progetto di tesi nasce dalla collaborazione tra ARPA Valle d'Aosta (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) e l'Università degli Studi di Milano Bicocca, mirato all'approfondimento di studi svolti in precedenza nell'ambito della medesima collaborazione, che aveva evidenziato superamenti del limite di legge (D. Lgs 152/06) da cromo esavalente in alcune aree della piana di Aosta nel periodo analizzato (2000-2012). Lo scopo è stato la costruzione di un modello concettuale del fenomeno su cui è stato impostato un modello idrogeologico matematico numerico per la simulazione del flusso idrico sotterraneo e del pennacchio di contaminazione da Cr(VI). Il modello realizzato ha inoltre permesso di avanzare ipotesi realistiche per la bonifica della problematica analizzata.

L'area di studio è compresa all'interno della piana di Aosta, tra il comune di Aymavilles e quello di Brissogne. Il territorio presenta uno sviluppo Ovest-Est all'interno del quale scorre la maggiore asta fluviale dell'intera regione, la Dora Baltea. Il sottosuolo vede la presenza di una falda freatica ospitata in un acquifero alluvionale con potenza superiore ai 90m. Tale acquifero, tra i comuni di Pollein e Brissogne, presenta localmente uno strato di limi spessi circa 5 m con una estensione laterale non ancora ben definita, che lo suddivide in una porzione freatica spessa circa 25-30 m e una sottostante falda semi-confinata che raggiunge la base dell'acquifero.

Il lavoro è stato sviluppato in una serie di step:

- Organizzazione preliminare dei dati piezometrici e idrochimici riguardanti il Cr(VI), mediante l'impiego di sistemi informativi territoriali, banche dati e il software Surfer;
- Elaborazione del modello concettuale del sistema idrogeologico e del plume di contaminazione da cromo esavalente;
- Ricostruzione tridimensionale dei parametri idraulici dell'acquifero attraverso il software GOCAD;
- Modellazione tridimensionale del flusso idrico sotterraneo e del plume di contaminazione, rispettivamente mediante l'impiego del codice di calcolo MODFLOW e MT3DMS, con interfaccia grafica Groundwater Vistas 6 (GwVs);
- Individuazione e modellazione di tre proposte di risanamento del sito, potenzialmente risolutive per la contaminazione.

Nella prima fase del lavoro, partendo dai dati piezometrici e chimici del cromo esavalente, sono stati ricostruiti i rispettivi trend storici. Ciò ha permesso di capire qual è il comportamento del sistema idrogeologico e del contaminante. Si è quindi proceduto con

l'individuazione delle porzioni di acquifero interessate dalla contaminazione e delle possibili fonti di rilascio. Tale analisi ha evidenziato una problematica circoscritta alla zona centrale della piana: nel comune di Aosta, area in cui sono state registrate le massime concentrazioni di Cr (VI), è infatti presente l'acciaieria CAS – ex COGNE, la quale è stata ipotizzata come responsabile del rilascio di cromo esavalente in falda. A tale proposito va precisato che si tratta di uno stabilimento industriale operante da quasi un secolo, e che pertanto l'inquinamento osservato è di fatto ascrivibile per lo più ai decenni di attività in assenza di legislazione a tutela dell'ambiente.

Incrociando le informazioni piezometriche con i valori di concentrazione è stata avanzata l'ipotesi che il rilascio non sia dovuto ad una sorgente attualmente attiva, ma che sia legato all'accumulo nel suolo insaturo di scorie di lavorazione, dalle quali il cromo esavalente viene rilasciato per effetto combinato delle piogge e della falda stessa. Infatti, la dinamica piezometrica è risultata essere caratterizzata da ampie e continue oscillazioni verticali, che permettono alla tavola d'acqua di entrare in contatto con zone contaminate dell'insaturo, portando in soluzione il Cromo VI e disperdendolo nel corpo acquifero, secondo la direzione di flusso.

Ai fini della costruzione del modello di flusso e di trasporto, è stato necessario partire dalla ricostruzione dei parametri idraulici dell'acquifero: conducibilità idraulica e porosità efficace. A tale scopo sono state impiegate le stratigrafie relative alla piana d'Aosta presenti nel database per pozzi TANGRAM. Tale database permette di convertire la colonna stratigrafica in valori numerici di conducibilità idraulica, mediante opportune tabelle di conversione. Prima di estrarre da TANGRAM i valori di conducibilità idraulica relativi alle singole stratigrafie, le tabelle di conversione sono state calibrate sulla base dei risultati delle prove di pompaggio presenti in letteratura.

Le conducibilità idrauliche, estratte a passo metrico e per ogni stratigrafia disponibile, sono state importate e interpolate all'interno di una griglia di calcolo appositamente realizzata. In ambiente GOCAD e mediante l'impiego di tecniche geostatistiche (Kriging) si è così ottenuta

la ricostruzione tridimensionale del parametro.

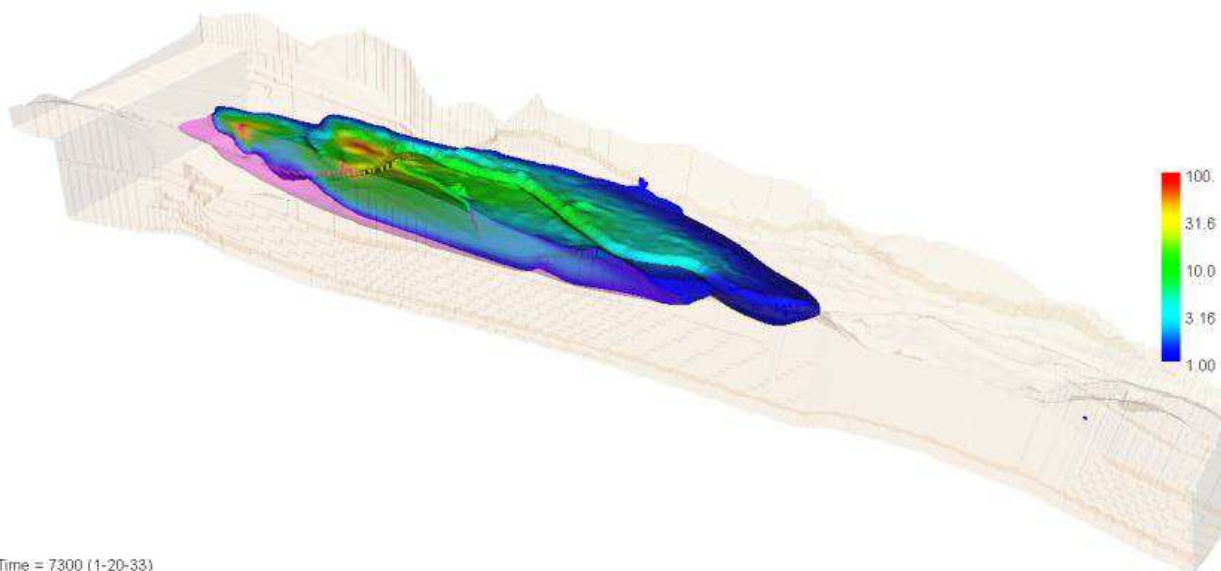
Il modello concettuale dell'acquifero e della contaminazione, così come la ricostruzione tridimensionale della conducibilità, sono stati impiegati per la costruzione del modello di flusso e di trasporto relativi all'area indagata. Ai fini della realizzazione del modello sono stati impiegati i codici di calcolo MODFLOW per il flusso e MT3DMS per il trasporto, impiegando come interfaccia grafica Groundwater Vistas 6 (GwVs).

La griglia di calcolo e i risultati dell'interpolazione sono stati importati attraverso l'interfaccia GwVs in MODFLOW. Parte degli input che si riferiscono al modello di flusso, come il fiume e la ricarica, derivano da un lavoro precedente. L'obiettivo del modello di flusso è stato quello di ottenere il campo di moto delle acque sotterranee in una condizione media della falda, da impiegare come input al trasporto.

Il modello di flusso ottenuto è un modello stazionario, calibrato sui dati piezometrici del gennaio 2009. Tale mese è rappresentativo di una condizione di minimo piezometrico nell'anno considerato, ma si presenta anche come situazione media della tavola d'acqua nel periodo che va dal 2000 al 2012, condizione risultata ottimale per modellare un andamento medio del plume di contaminazione.

Per quanto riguarda il modello di trasporto, il lavoro è consistito nell'individuazione dei parametri che regolano il trasporto advettivo-dispersivo del cromo esavalente nelle acque sotterranee (coefficiente di distribuzione  $Kd$ , porosità effettiva  $n$ , bulk density  $\rho_b$ , coefficienti di dispersività  $\alpha_L$ ,  $\alpha_T$ ,  $\alpha_V$ , Adsorbimento e Decadimento).

L'obiettivo modellistico prefissato è stato quello di riuscire ad ottenere un modello simulato del plume calibrandolo sulle concentrazioni di Cr (VI) registrate nel gennaio del 2009. Il processo di calibrazione del modello di trasporto ha seguito una procedura di tipo "trial and error" che - attraverso sia un progressivo aggiustamento dei parametri che regolano il trasporto, sia variando la forma, la posizione e le concentrazioni assegnate alle sorgenti di contaminazione - ha permesso di ricostruire la reale contaminazione precedentemente descritta. Per progressive iterazioni si è giunti quindi alla definizione della morfologia del pennacchio e della posizione delle sorgenti, rispecchiando in modo verosimile i dati reali di concentrazione di Cr (VI) nell'intera porzione di piana.



**Figura 1 - plume di Cr(VI) simulato**

Il risultato del modello (Figura 1) ha confermato l'ipotesi di partenza, individuando nell'acciaieria l'area da cui parte la contaminazione, presentando una distribuzione variabile delle sorgenti nel sito. Dato l'elevato grado di solubilità e della sua velocità in acqua, di poco inferiore a quella della falda (con ritardo stimato di 1.3), il cromo VI percorre una distanza maggiore ai 4.8 km verso valle e si allarga trasversalmente fino a circa 1.2 km. Un altro elemento interessante emerso dal modello simulato è il ruolo della Dora Baltea. Il fiume, infatti, nella porzione più distale del plume presenta un rapporto con la falda a carattere drenante. Questo permetterebbe il probabile contenimento delle concentrazioni di cromo VI in falda, trasferendolo però al fiume.

Il lavoro si è concluso con tre proposte di risoluzione del problema. La prima ha previsto la progettazione di una barriera idraulica per il contenimento delle concentrazioni, oltre il limite normativo, entro i confini dell'acciaieria. La seconda ha ipotizzato la bonifica del sito industriale tramite rimozione delle scorie e la terza è derivata dalla combinazione delle due precedenti.

Per la progettazione della barriera idraulica si è tenuto conto della necessità di non incrementare l'impatto dei prelievi sulla falda, e allo stesso tempo di non penalizzare le esigenze idriche dell'acciaieria. A tale scopo le portate emunte, relative ad alcuni pozzi pre esistenti e di proprietà dell'acciaieria, sono state ridistribuite su n. 5 ipotetici nuovi pozzi costituenti la barriera idraulica. Il risultato ottenuto è stato una progressiva riduzione del volume di acquifero contaminato, riuscendo nell'obiettivo di contenere la curva di isoconcentrazione, pari a 5 µg/L (limite normativo), entro i confini dell'acciaieria.

La seconda proposta ha ipotizzato la bonifica del suolo insaturo, mediante eliminazione delle sorgenti. Il risultato ottenuto è stato un completo azzeramento della massa di cromo esavalente in falda in un tempo massimo di 16 anni.

La terza proposta vede l'associazione della bonifica e della barriera idraulica, quest'ultima mirata a facilitare il ripristino qualitativo della risorsa idrica, ma anche come presidio di sicurezza in caso di eventuali nuovi sversamenti. Il risultato è stato molto simile alla seconda proposta, registrando però un incremento della velocità di abbattimento della massa di cromo VI residente in falda, soprattutto nelle prime fasi post bonifica.

Va precisato che l'ipotesi della barriera idraulica, che ha dimostrato di potere raggiungere l'obiettivo prefissato, potrebbe essere realmente applicata al contesto analizzato. Le ultime due ipotesi invece, data l'impossibilità pratica di realizzare una completa bonifica dell'insaturo mediante rimozione fisica delle scorie, sono state testate al solo scopo di avvalorare le potenzialità del modello realizzato.

I risultati ottenuti saranno poi utilizzati da ARPA per migliorare e dettagliare la sua attività di monitoraggio sulle acque sotterranee della piana d'Aosta.