

La caratterizzazione idrogeologica e idrochimica delle fonti di inquinamento

A cura di V. Francani

Vincenzo.francani@polimi.it

PREMESSA

Il controllo delle fonti di inquinamento, basato su una serie di misure cautelative nell'utilizzo delle sostanze inquinanti, e la gestione degli interventi su di esse una volta accertata la provenienza degli inquinanti, è una tecnica molto diffusa che ha il vantaggio pratico di consentire spesso notevoli economie nella bonifica. In questa breve informativa, vengono esposti i vantaggi ai fini pratici di una gestione delle fonti di contaminazione basata su un approfondimento delle conoscenze dell'intensità della fonte e dei parametri che la caratterizzano.

Tradizionalmente le fonti di inquinamento vengono classificate anzitutto distinguendo quelle naturali da quelle antropiche, e poi in base al loro regime come continue e discontinue. In terzo luogo come posizione dal punto di vista idrologico e geologico (ad esempio: in superficie, nel suolo non saturo, nel terreno saturo). Infine è frequente che vengano tenute presenti nei calcoli dello sviluppo della contaminazione le modalità di sversamento e se localizzate in superficie o in falda.

Tuttavia in casi specifici, spesso di difficile soluzione, si è verificata l'opportunità di utilizzare, dopo una prima caratterizzazione compiuta sulla base di questi elementi, anche altri parametri utili per i calcoli previsionali. A tale conclusione si è pervenuti constatando come una precisa indicazione dei parametri idrogeologici e idrochimici permetta una valutazione molto corretta delle modalità di sviluppo e della pericolosità della contaminazione alla quale esse danno luogo.

1. PARAMETRI UTILI ALLA CLASSIFICAZIONE DELLE FONTI DI INQUINAMENTO

Recentemente Brooks, Annable e al. (2008) hanno esposto in modo molto chiaro e completo la descrizione di alcuni parametri basilari per una caratterizzazione delle fonti, e qui di seguito se ne fornisce una descrizione.

Intensità della fonte (source strenght)

Intensità della sorgente è un termine che si riferisce alla massa di contaminante presente nella zona di origine e più ancora al suo flusso dalla zona di origine. Pertanto, trasmette informazioni non solo sulla longevità della fonte, ma anche sulla dimensione del pennacchio

che verrebbe creato (a causa del riferimento al flusso). Anzitutto per quantificare la “forza” della sorgente o del pennacchio viene utilizzata la relazione:

Intensità della sorgente = massa rilasciata dalla fonte in un periodo di tempo definito

Carico inquinante specifico, o mass flux o flusso di massa (F)

Viene presa in considerazione la velocità della massa del soluto che si sposta attraverso un'area definita specifica, solitamente una porzione della sezione trasversale del pennacchio.

La massa di soluto F che attraversa una sezione unitaria dell'acquifero è data dal prodotto della cadente piezometrica J, della concentrazione C in g/l e della permeabilità in m/s

$$F = K \cdot J \cdot C$$

F è una quantità vettoriale, con unità di massa/ tempo/ area. Può essere altamente variabile.

Si consideri in via semplificativa un sito che coinvolge una fonte di contaminante da cui viene rimossa la massa sotto il flusso naturale delle acque sotterranee a gradiente, generando un pennacchio di contaminante disciolto molto più grande. Definiamo flusso di massa, F [M / L² / T] come il prodotto del flusso di Darcy, q [L / T] e la concentrazione locale di contaminante, C [M / L³], nella fase acquosa:

Carico inquinante specifico (Mass Flux, F):

$$F = q \cdot C$$

Dove

q = Portata specifica (Specific Discharge) $q = K \cdot i$

C = Concentrazione media

Quindi il Carico inquinante specifico F è calcolato in [M/(L T-1)]

ESEMPIO di calcolo del Carico inquinante specifico F in tre diversi terreni

		K (m/g)	i (m/m)	C (µg/L)	Mass flux
Source zone	Sabbia fine	1	0.003	10	0.03
	Sabbia grossolana	33.3	0.003	10	1
	sabbia	5	0.003	10	0.15

Carico inquinante (mass discharge, Md)

Il carico inquinante (*mass discharge*) è la massa totale che attraversa un piano di controllo di interesse. Più precisamente è la massa totale di qualsiasi soluto trasportata da un pennacchio in una determinata posizione.

Md è una quantità scalare in cui un valore positivo riflette il trasporto di massa di contaminanti nella direzione del flusso delle acque sotterranee.

Md = Somma delle stime del flusso di massa x Aree

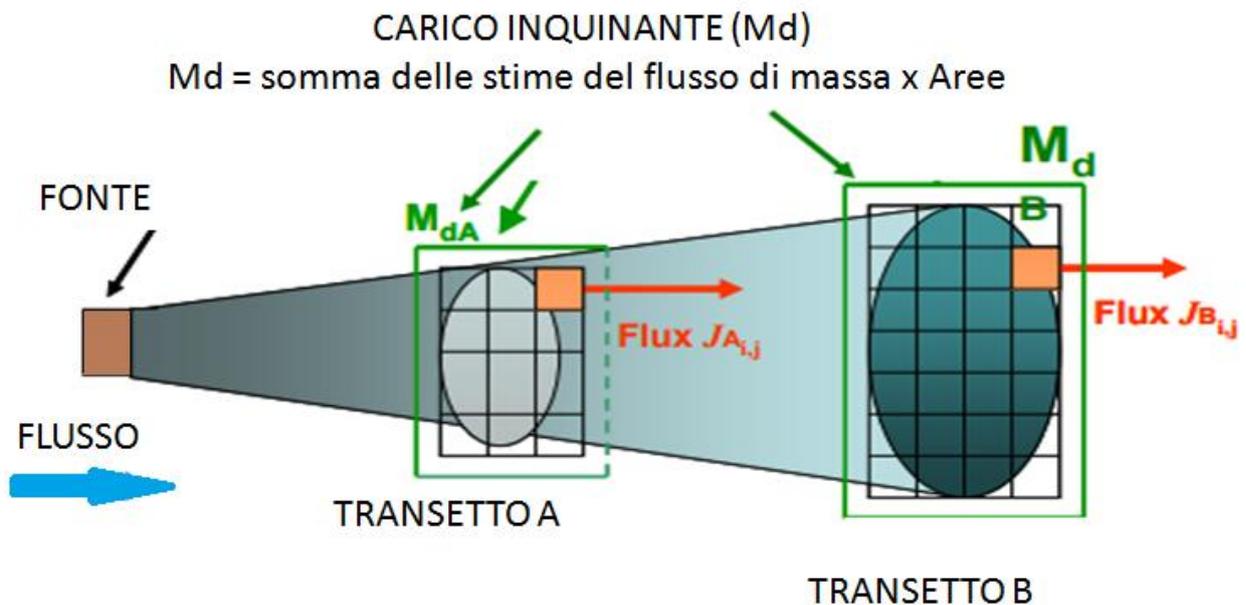


FIG. 1. Schema sul flusso di massa F e carico inquinante Md. J_{Aij} è il flusso di massa nel transetto A, M_{dA} è il carico inquinante nel transetto A (somma di tutte le stime di massa di $J_{Aij} \cdot A$) (modificato da ITRC - Use and Measurement of Mass Flux and Mass Discharge, 2010)

Attraverso dei transetti, cioè sezioni verticali che attraversano la contaminazione in senso ortogonale al flusso, Md può essere calcolata utilizzando una serie di metodi ^[1], ma in generale può essere riassunta dall'equazione 1:

$$M_D = \sum_{i=1}^n q_i C_i A_i$$

Equazione 1

La variazione del carico inquinante nel tempo è definita come funzione di intensità della sorgente [Md(t)]

2. CARATTERI DISTINTIVI LOCALI

Altri caratteri distintivi il cui impiego dipende dai problemi che di volta in volta vengono affrontati, sono:

1. Distanza massima percorribile dalla contaminazione fino ad acquisire una concentrazione C pari a quella limite di potabilità
2. Ampiezza dell'area che può essere oggetto della contaminazione
3. Profondità massima del corpo idrico che può essere inquinato
4. Stato: ampliamento, stasi, riduzione
5. Pericolosità: capacità di dare luogo a contaminazione di corpi idrici potabili e a opere di captazione di acque potabili

3. CONTROLLO E GESTIONE DELLA FONTE DELLA FONTE DI INQUINAMENTO

Il maggiore dettaglio nella caratterizzazione della fonte è richiesto nei casi di inquinamenti complessi, ad esempio quando l'alimentazione del corpo idrico sotterraneo avviene attraverso più sistemi di ricarica che agiscono in modo differente sia come entità sia come tempistica degli apporti, nel corso del tempo.

Applicando i concetti espressi dagli Autori citati è possibile pervenire a soluzioni meglio articolate e più idonee di quelle tradizionali. Per fare un esempio, si consideri il caso in cui un acquifero in pressione viene alimentato da due canali rettilinei ortogonali fra loro, i quali siano dotati di regime idrometrico diverso, fatto che comporta che le rispettive portate Q e Q' affluenti alla falda siano diverse nel corso dell'anno.

Come si può dedurre dalla figura 2, la fonte di contaminazione posta nel campo sensibile agli apporti dei due corsi d'acqua, è sottoposta a un afflusso che varia nel tempo.

E' quindi necessario determinare modulo e verso del vettore velocità, che in un primo tempo può essere fatto solo nel piano orizzontale.

In questo caso la determinazione del vettore velocità (corrispondente alla portata unitaria) della falda nel campo compreso fra le due fonti di alimentazione lineari è molto semplice e compare in numerosi testi(es.Custodio e Llamas, 2005). Infatti abbiamo che da un canale alimentante esce una portata che dalla relazione di Darcy:

$$Q = T (H-h)w/x$$

In cui T è la trasmissività in m^2/s , w la lunghezza del canale, x la distanza misurata ortogonalmente ad esso della fonte di contaminazione, H il carico piezometrico nel canale e h quello nel punto distante x dalla fonte. Il vettore velocità, pari alla portata specifica, risulta come noto dalla relazione:

$$q = kJ$$

Per la falda alimentata dal secondo canale, abbiamo analogamente:

$$q' = kJ'$$

I valori di J risultano ricostruibili dalla piezometria a monte dei due fiumi, e pertanto possono essere utilizzati per determinare i valori di q .

E' possibile anzitutto calcolare il rapporto fra le velocità, infatti:

$$q/q' = J/J'$$

La somma vettoriale delle velocità consente di trovare il vettore velocità nel campo di moto della falda dipendente. A tal fine è noto che il modulo del vettore è dato dal prodotto della radice quadrata di q/q' per la somma dei due vettori.

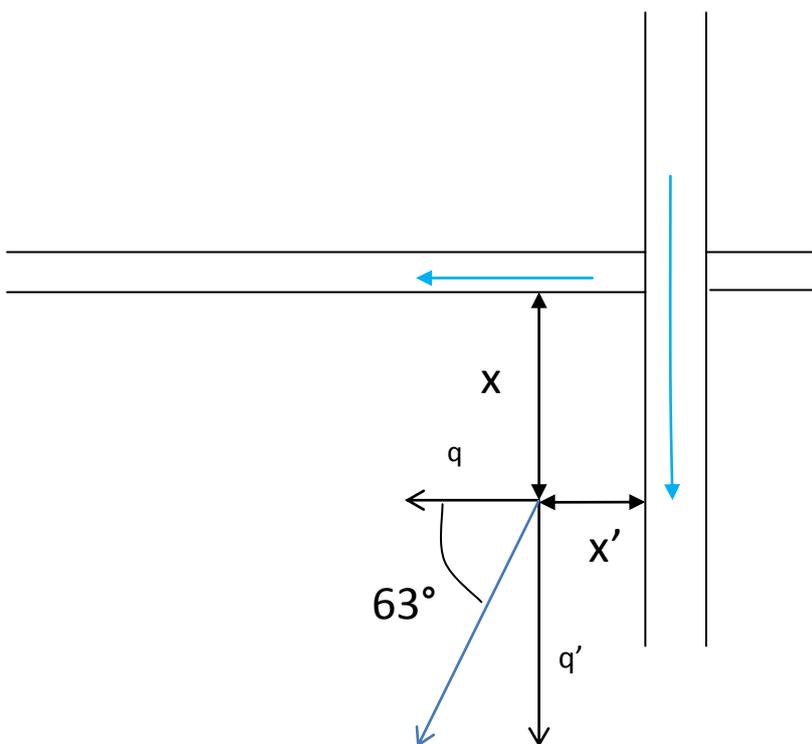


Fig. 2:

Schema semplificato delle due fonti di alimentazione ortogonali, in cui $q' = 2q$. Posto che i canali siano impermeabilizzati solo a monte dell'incrocio, il campo soggetto alla ricarica è quello del riquadro a sinistra in basso. La risultante della ricarica proveniente dalle due fonti forma in questo caso un angolo di circa 60° con il vettore di modulo superiore

L'angolo che la risultante forma con il vettore di modulo minore è dato dall'arco tangente del rapporto q'/q .

Analogamente, se il rapporto q'/q risultasse 5, l'angolo sarebbe di 78° , e se q' fosse inferiore q e il rapporto risultasse di 0,5, l'angolo si ridurrebbe a 26° .

Con soluzioni matematiche solo di poco più elaborate, quali ad esempio il calcolo vettoriale utilizzando i numeri complessi, come indicato da M. Fanelli (1971), si può avere modulo e direzione del vettore velocità risultante in ogni punto del campo compreso fra le due fonti di ricarica della falda, e quindi anche nel punto di origine del flusso inquinante.

Quando nel corso dell'anno per il variare degli apporti pluviometrici o comunque dei fattori che determinano l'alimentazione della falda, cambia il rapporto q'/q , i calcoli in regime transitorio del senso e del modulo del vettore velocità sono complessi.

Per limitarsi a definire le condizioni di maggior pericolo, l'analisi può essere ridotta considerando solamente le condizioni per le quali la risultante è diretta in modo da poter favorire il superamento delle concentrazioni ammissibili alla periferia dell'area in studio.

Per avere un indirizzo preciso sulla tendenza generale nel tempo dello sviluppo dell'inquinamento, è invece necessario inserire nel calcolo i valori di q e q' corrispondenti alla media ponderata dei valori riscontrati nel corso dell'anno.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il controllo e la gestione della fonte di inquinamento, che può essere supportato da calcoli anche molto più precisi di quelli esposti nel breve esempio, ha due vantaggi notevoli: permette di accertare la direzione di flusso generale della contaminazione e consente di comprendere l'importanza relativa di ciascuna delle due zone di ricarica nel determinare velocità di spostamento e senso di moto preferenziale della contaminazione. Oltre al miglioramento della conoscenza del modello concettuale della contaminazione, si ha modo di analizzare le opportunità offerte dagli interventi di drenaggio o impermeabilizzazione delle aree di ricarica, e meglio orientarli aumentandone l'efficacia e riducendone i costi.

5. BIBLIOGRAFIA

- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2010. Use and Measurement of Mass Flux and Mass Discharge. MASSFLUX-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Integrated DNAPL Site Strategy Team. www.itrcweb.org
- Brooks, M.C., Wood, A.L., Annable, M.D., Hatfield, K., Cho, J., Holbert, C., Rao, P.S.C., Enfield, C.G., Lynch, K. and Smith, R.E., 2008. Changes in contaminant mass discharge from DNAPL source mass depletion: Evaluation at two field sites. Journal of Contaminant Hydrology, 102(1-2), pp.140-153. doi: [10.1016/j.jconhyd.2008.05.008](https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2008.05.008)Report.pdf
- Annable, M.D., Hatfield, K., Cho, J., Klammler, H., Parker, B.L., Cherry, J.A. and Rao, P.S.C., 2005. Field-scale evaluation of the passive flux meter for simultaneous measurement of groundwater and contaminant fluxes. Environmental science & technology, 39(18), pp.7194-7201. doi: [10.1021/es050074g](https://doi.org/10.1021/es050074g)Report.pdf

- Rein, A., Bauer, S., Dietrich, P. and Beyer, C., 2009. Influence of temporally variable groundwater flow conditions on point measurements and contaminant mass flux estimations. Journal of contaminant hydrology, 108(3-4), pp.118-133. [doi: 10.1016/j.jconhyd.2009.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2009.06.005)
- Custodio E. & Llamas M. 2005. Idrologia sotterranea. Ed. Flaccovio, Palermo.
- Fanelli M., 1971. Idrologia grafica. ENEL Ricerche