

Nota sulle conseguenze dell'intasamento degli alvei

Di Vincenzo Francani

Presentazione

Questo scritto propone una panoramica dei metodi utilizzati per approfondire i fenomeni della progressiva impermeabilizzazione per cause naturali e artificiali dell'alveo e delle ripe e della disconnessione fiume falda. Si è da tempo osservato che la deposizione di fanghi ostacola lo scambio di acqua tra la rete idrica di superficie e i copri idrici sotterranei con danni per l'agricoltura in quanto viene ad essere aumentato il costo dell'irrigazione per supplire al venir meno dell'alimentazione dai corsi d'acqua. Nel bilancio idrico delle pianure tale scompenso può dar luogo a una consistente riduzione degli afflussi alla falda. Lo studio evidenzia che questa problematica interessa anche la progettazione di infrastrutture e impianti di smaltimento, perchè gran parte del volume di materiale convogliato dalle reti di drenaggio delle infrastrutture verso i corsi d'acqua è costituito da sedimenti molto fini, capaci di produrre rapidamente l'intasamento dell'alveo e delle ripe.

Si ritiene quindi utile provvedere a un sistematico monitoraggio dell'intasamento, premessa indispensabile per valutare l'ordine di priorità di intervento su questo fenomeno, importante per lo sviluppo del territorio e per la prevenzione del dissesto idrogeologico.

This paper is an overview of the methods available to investigate the progressive clogging of the riverbed, causing the disconnection of the river from the aquifer. For examples, has long been observed that the deposition of industrial sludges hinders the exchanges of surface water network and the groundwater, increasing the irrigation cost . Moreover this imbalance can give rise to a significant reduction in inflows to the aquifers.

This study highlights that this problem also concerns the design of infrastructures and disposal plants, because a large part of the volume of material conveyed by the infrastructure networks towards the watercourses consists of fine sediments, capable of rapidly causing the clogging of the riverbed and riverbanks ones.

It is therefore considered useful to provide for systematic monitoring of clogging, an indispensable premise for evaluating the order of priority of intervention on this phenomenon.

Premessa

La sedimentazione negli alvei e lungo le sponde dei corsi d'acqua di fanghi e materiali fini, spesso di origine organica, ostacola l'alimentazione delle falde e favorisce il propagarsi di oscillazioni piezometriche che rendono instabile le sponde. Queste conseguenze peggiorative del bilancio idrico e dell'equilibrio idrogeologico sono particolarmente accentuate quando il fiume è disconnesso

dalla falda a causa della completa impermeabilizzazione dell'alveo. Infatti nel corso delle piene dal corso d'acqua proviene alimentazione ai terreni permeabili che ne costituiscono le sponde e quando il livello idrometrico torna a decrescere al termine della piena, il volume d'acqua immagazzinato temporaneamente ("bank storage") rientra nell'alveo. Questo immagazzinamento e il successivo rientro di acqua in alveo possono avere rilevanti effetti per diversi motivi secondo la struttura idrogeologica e secondo le modalità con le quali avviene. Inoltre la deposizione di fanghi impermeabilizza nel tempo alveo e ripe, isolando il fiume dalla falda e determinando seri problemi ecologici e di ricambio delle acque. Lo studio evidenzia che questa problematica interessa soprattutto le aree urbane e industriali e quelle in cui sono in atto progetti di opere capaci di produrre l'accelerazione di questi fenomeni di intasamento, come strade e infrastrutture. Infatti la costruzione di ferrovie e strade comporta l'escavazione dei suoli sia per il recupero di inerti sia per evitare intersezioni con la viabilità secondaria e gli abitati. Gli scavi raggiungono solitamente diversi metri di profondità e si estendono in lunghezza anche di molti km, esponendo all'erosione superfici di terreno spesso facilmente asportabile dalle acque correnti e convogliato verso i ricettori naturali, quali fiumi, torrenti e laghi. In generale il sedimento che viene deposto nella rete idrica superficiale rappresenta un aggravio delle condizioni ambientali del corso d'acqua ricettore se il fenomeno non è controllato.

Questo fatto assume particolare rilevanza nelle strade delle aree montane, che convogliano lungo i loro sistemi di drenaggio ingenti portate, con un rilevante trasporto solido di materiale eroso dai versanti dalle acque non incanalate.

Non appare quindi fuori luogo considerare nei progetti l'opportunità di provvedere alla manutenzione dei punti nei quali vengono convogliati questi materiali e a stabilire dove il fenomeno può avvenire così rapidamente da determinare effetti sensibili sull'erosione del fondo e i cedimenti delle ripe. Queste precauzioni possono consentire di mantenere la sicurezza con periodica manutenzione delle ripe e degli alvei, utilizzando i materiali secondo le più convenienti modalità e nel rispetto delle normative dei materiali che altrimenti si accumulerebbero in alveo.

Nelle aree urbane i processi di intasamento degli alvei possono essere anche ingenti, in quanto dipendono dai volumi di acque torbide e fanghi convogliati dalle fognature verso i corsi d'acqua che le attraversano. Anche se i dati su questi apporti sono noti, la letteratura non riporta esempi significativi degli effetti di tale stato di cose per molti aggregati urbani importanti, e non è quindi possibile presentarne una casistica esauriente.

Questo scritto propone una panoramica dei metodi utilizzati per approfondire il fenomeno dell'intasamento e della disconnessione fiume falda, con l'obiettivo di favorire un corretto monitoraggio dello stato dei rapporti fiumi-falda, passo indispensabile per stabilire gli interventi più idonei per mantenerne l'equilibrio.

1.L'intercomunicazione fra corsi d'acqua e corpi idrici sotterranei

Quando non vi è contatto tra le acque del fiume e quelle della falda, i due corpi idrici vengono classificati come "disconnessi", anche se in molti casi si realizzano condizioni in cui lo scambio idrico avviene in modo limitato.

Si possono distinguere due tipi principali di separazione: il primo, come indicato nella figura 1, dovuto all'approfondimento della falda. Solitamente si passa da una completa connessione a un sistema transitorio, nel quale gli scambi con il fiume avvengono solo in condizioni di particolare innalzamento della falda, o di presenza di una frangia capillare che può mantenere (con la frazione che contiene acque libere) un contatto attivo. L'ulteriore approfondimento del livello di falda porta alla separazione fra acque superficiali e sotterranee.

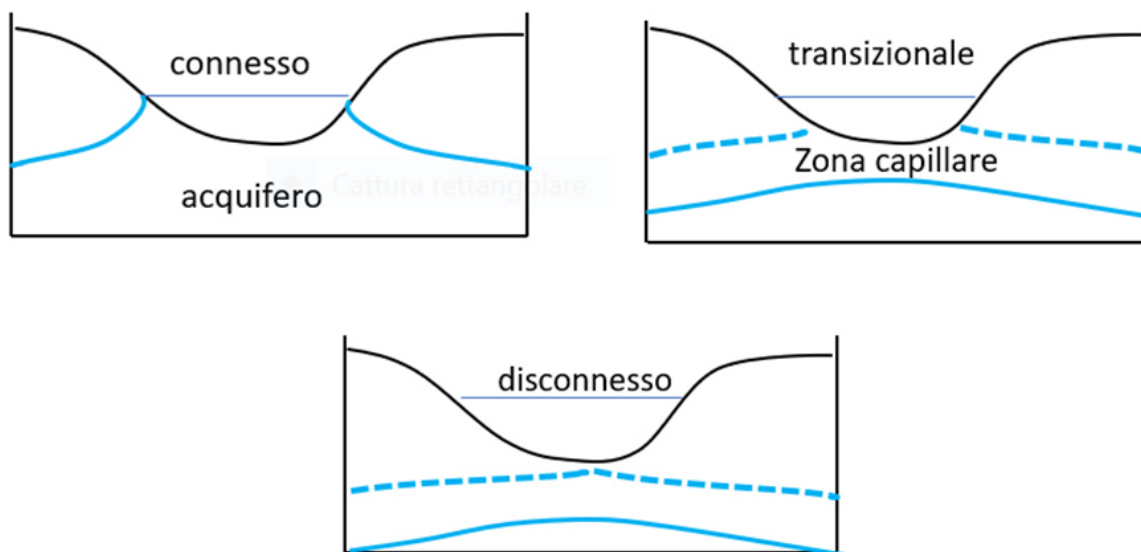


Figura 1 Disconnessione per abbassamento del livello piezometrico ; si può notare l'importanza dello spessore della frangia capillare nel determinare il passaggio dalla connessione alla disconnessione

Il secondo tipo di separazione si verifica quando materiale fine o cementante si infiltra nel materiale permeabile che forma l'alveo, fino a rendere nullo il passaggio d' acqua fra i due corpi idrici (figura 2) .Si nota che il rapporto fra la permeabilità dello strato limite fra fiume e falda e il suo spessore (conduttanza specifica) caratterizza bene questo stato di cose: al diminuire della permeabilità dell'alveo (ad esempio per intasamento da particelle fini) o all'aumentare del suo spessore (ad esempio per un approfondimento del livello freatico) la conduttanza si riduce. Quando questo valore è tale da impedire la filtrazione fiume e falda risultano disconnessi.

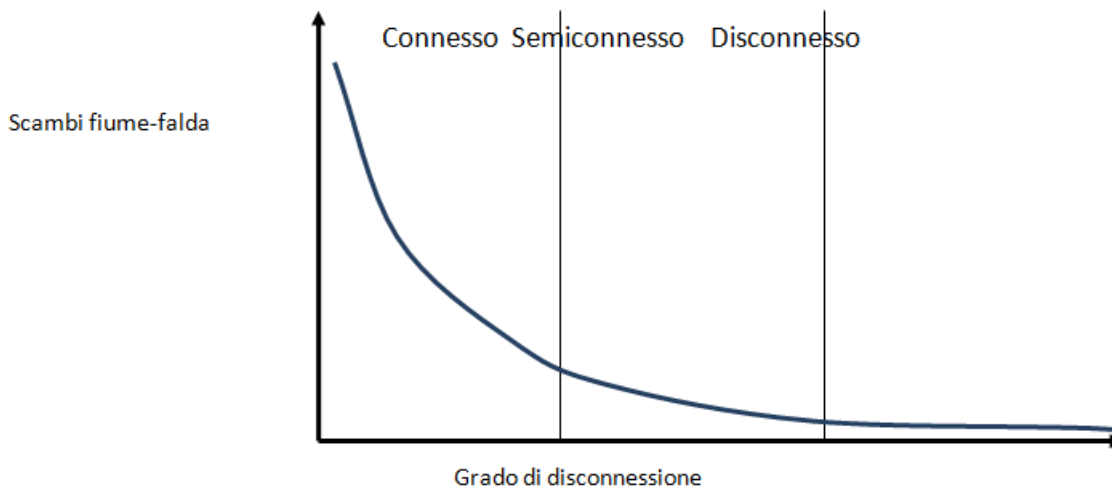


Figura 2 :Disconnessione per intasamento : l'isolamento del fiume dall'acquifero avviene per la riduzione della conduttanza del livello di confine fra i due corpi idrici.

Per le simulazioni concettuali di Brunner et al. (2009), una zona di mezzo metro di spessore insaturo sarebbe sufficiente per la disconnessione nella maggior parte dei casi. Tuttavia, attualmente l'unico modo dimostrare che un fiume è disconnesso è chiarire se il flusso di infiltrazione non varia con la profondità della falda. In pratica, questo può essere difficile.

Si possono verificare variazioni spaziali e temporali dello stato della connessione. Ad esempio, il pompaggio delle acque sotterranee sotto al fiume disconnesso può aumentare la lunghezza del torrente che è disconnesso, il che influisce sul flusso complessivo. Questa variabilità temporale e spaziale ha implicazioni sull'interpretazione e l'uso dei dati di campo. Qualsiasi valutazione dello stato di connessione può essere valido solo per un determinato periodo e tratto di fiume considerati.

Tutti questi schemi portano a concludere che il tasso di infiltrazione di un flusso disconnesso dipende dalla profondità e dalla larghezza del corpo idrico superficiale. Pertanto, la gestione delle acque superficiali influenzerà il sistema idrico sotterraneo, indipendentemente dallo stato dell'interconnessione. Ovviamente il parametro principale per valutare il grado di separazione è rappresentato dalla distanza fra i due corpi idrici, come sottolineato da Brunner che introduce fra le modalità di disconnessione quella per intasamento (clogging) delle alluvioni del corso d'acqua, soprattutto a causa della sedimentazione di fanghiglie sui depositi dell'alveo.

Infatti la presenza di un livello continuo ed esteso impermeabilizzato dall'infiltrazione nell'acquifero di sabbie fini, limi e argille depositi dal fiume produce la separazione dei due corpi idrici per intasamento.

Disconnessione per intasamento

La penetrazione di particelle fini dalla superficie del terreno finisce con l'impermeabilizzare i suoli. Anche gli alvei dei corsi d'acqua sono notoriamente soggetti a questo fenomeno, in particolare quando le piene trasportano fanghiglie, la penetrazione dei materiali fini, spesso ad alto contenuto organico, dà luogo alla progressiva impermeabilizzazione dell'alveo, che al termine del processo è quindi disconnesso dalla falda. L'intasamento è indicato come **la riduzione della permeabilità dell'alveo** ed è il risultato dell'infiltrazione e dell'accumulo di solidi sospesi sia organici che inorganici, precipitazione di carbonati, ossidi di ferro e manganese e processi biologici. La resistenza di infiltrazione controlla la perdita di carico tra il fiume e la falda acquifera adiacente e il potenziale flusso incrociato delle acque sotterranee dall'altra sponda del fiume. L'intasamento è inevitabile e può ridurre significativamente la capacità specifica dei pozzi per l'approvvigionamento idrico.

Per determinare la perdita di carico causata dal flusso verticale attraverso l'alveo ad una data velocità di infiltrazione, è necessario per il calcolo lo spessore dello strato di intasamento e valutare il coefficiente di intasamento L .

In effetti il valore del coefficiente di intasamento è controllato dall'idrologia fluviale, dalla qualità delle acque superficiali, dalla posizione del pozzo rispetto alla portata e dalla distanza dalla sponda del fiume, nonché dalle caratteristiche dell'alveo. Sono noti quattro tipi di intasamento e il nome è dato in base alle sue proprietà di formazione: fisico (deposizione, filtrazione di solidi sospesi), meccanico (intrappolamento di gas), biologico (crescita batterica) e chimico (reazione di precipitazione). Il processo di intasamento può essere ulteriormente specificato, a seconda del suo aspetto, come intasamento esterno o interno. Per determinare la perdita di carico causata dal flusso verticale attraverso l'alveo ad una data velocità di infiltrazione, è necessario introdurre un parametro che rappresenti l'infiltrabilità del terreno sottoposto a intasamento.

Valutazione del grado di intasamento locale

La propensione a favorire lo scambio di acque tra fiume e falda dello strato che separa i due corpi idrici può essere caratterizzata in base al coefficiente di infiltrabilità L , definito come conducibilità idraulica verticale k_c dello strato (m/s) diviso per lo spessore d (m). Questo valore è il reciproco della resistenza all'infiltrazione w (s), comunemente usata in letteratura.

$$L = k'/d = v_i/\Delta h = 1/w$$

Questo parametro può essere utilizzato per valutare l'entità dell'intasamento: infatti il rapporto L/k , in cui k è la conducibilità idraulica del terreno non intasato o precedente all'intasamento, può dare un'indicazione del coefficiente di intasamento. La determinazione diretta di questi parametri risulta tuttavia difficoltosa, in quanto l'esperienza mostra che individuare la permeabilità k' dai campioni di laboratorio richiede tempi lunghi per l'analisi della curva di setacciatura dei campioni di sedimenti di alveo, oltre a portare a valori molto elevati della conducibilità idraulica.

E' possibile superare queste difficoltà con la determinazione della permeabilità tramite prove in sito lungo l'alveo e le sponde, oppure con il campionamento dei terreni dal quale viene ricavata la permeabilità tramite granulometrie e l'applicazione della relazione di Kozeny-Carman:

$$K = g/v * 8,3 * 10^{-3} * [n^3 / (1-n)^2] * d_{10}^2$$

dove K è la conduttività idraulica, g è l'accelerazione gravitazionale, v è la viscosità cinematica, n è la porosità e d_{10} è il diametro del granulo (mm) per il quale il 10% del campione ha elementi di diametro più fine di questo valore. La determinazione puntuale di questo valore necessita inoltre di una buona conoscenza dello spessore d dell'acquifero interessato da questo tipo di alterazione, che non di rado presenta considerevoli variazioni in spazi ristretti.

Grischek e Bartak(2012)hanno optato per una metodologia più facilmente applicabile, che si basa sul controllo del regime piezometrico in punti di monitoraggio prossimi al corso d'acqua, abbinato a quello dell'idrogramma di piena e del successivo periodo di esaurimento. Questo metodo è stato sviluppato successivamente con l'impiego dei modelli matematici.

Per i calcoli dei rapporti idrometria-piezometria, i modelli matematici tengono debito conto della conduttanza del livello soggetto all'intasamento, che si interpone fra l'acquifero non modificato e il corso d'acqua.

Come è noto, questo parametro è definito come il rapporto fra la portata Q fluente sulla verticale tra fiume di superficie unitaria w e falda attraverso un livello di spessore b alla falda e il dislivello piezometrico dH fra alimentazione recapito. La conduttanza C si ricava quindi dallarelazione

$$\frac{Q}{dH} = C$$

dove

$$C = kw/b$$

C è in m^2/s , k in m/s , w in m^2 e b in m. w è la superficie di una striscia di un m di larghezza dell'alveo. Tale soluzione ampiamente collaudata offre soluzioni soddisfacenti per gli studi a scala locale, per le quali occorre distinguere i casi nei quali (come in prossimità di laghi o lungo le coste) le oscillazioni del corpo idrico superficiale sono sinusoidali con ampiezza e frequenza sostanzialmente costanti, caso per il quale la soluzione proposta è particolarmente semplice.

Fluttuazioni uniformi

Una condizione nota è quella studiata da Ferris (1951), che ha esaminato i casi in cui pozzi vicini a corpi idrici superficiali molto estesi mostrano fluttuazioni sinusoidali della piezometria in risposta a cambiamenti del loro livello idrometrico.

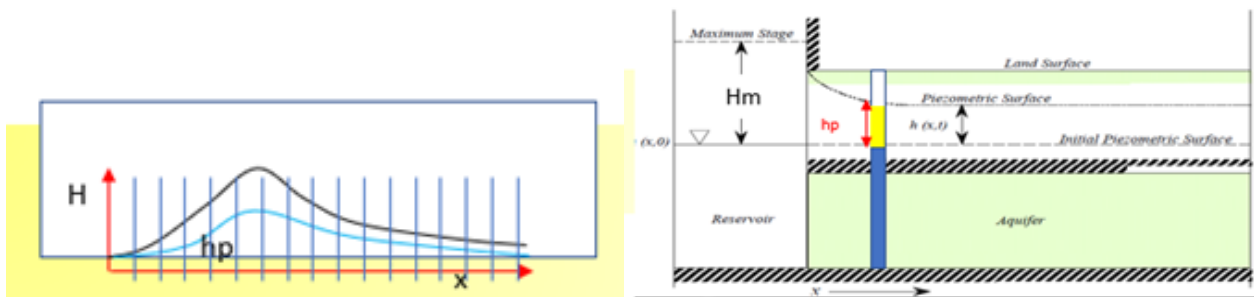
Quando il livello idrometrico fluttua come un semplice movimento armonico, una serie di onde sinusoidali si propaga verso l'esterno dall'intersezione corpo-falda acquifera attraverso la falda acquifera. Ferris ha proposto un'espressione che aiuta a determinare in base alla diffusività

dell'acquifero (T/S) ampiezza, ritardo, velocità e lunghezza dei cambiamenti del livello delle acque sotterranee. Se è noto l'intervallo di fluttuazione nell'acqua superficiale e in un pozzo adiacente al fiume, i parametri dell'acquifero possono essere derivati da:

$$h_{gw} = 2H_{fw} e^{-d\sqrt{\frac{\pi S}{PT}}}$$

Fluttuazioni non uniformi

Quando le piene non hanno l'andamento regolare ora descritto, si può adottare un metodo di calcolo analitico, quando la modellazione matematica non sia realizzabile. Nella figura 4, tratta dalle lezioni del corso Symples 2021, si riassume il metodo Pinder per la ricostruzione delle fluttuazioni piezometriche (da Pinder e Cooper, 1969) a seguito di piene che non hanno un andamento sinusoidale.



Pinder, Bredehoeft e Cooper (1969) hanno sviluppato soluzioni all'equazione utilizzando un'approssimazione discreta dell'idrogramma dello stadio del corpo di superficie. Per calcolare la variazione di carico dell'acquifero occorre ricavare la variazione dello stadio superficiale H_m dopo ogni successivo incremento del tempo t

$$\Delta h_m = \Delta H_m \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{(T/S)t}}$$

Δh_m = innalzamento istantaneo delle acque superficiali al tempo t

$t = m\Delta t$ dove m è un numero intero

la variazione del battente sotterraneo è data sommando i valori di h_m calcolati per ogni H_m nel periodo t , dando:

$$h_p = \sum_{m=1}^p \Delta H_m \left\{ \operatorname{erfc} \frac{u}{2\sqrt{p-m}} \right\}$$

Dove

$$u = \frac{x}{\sqrt{(T/S)\Delta t}}$$

h_p = pressione alla distanza x dall'intersezione del serbatoio al tempo

$p\Delta t$ = tempo totale dall'inizio del periodo di analisi dove p è il numero di intervalli di tempo

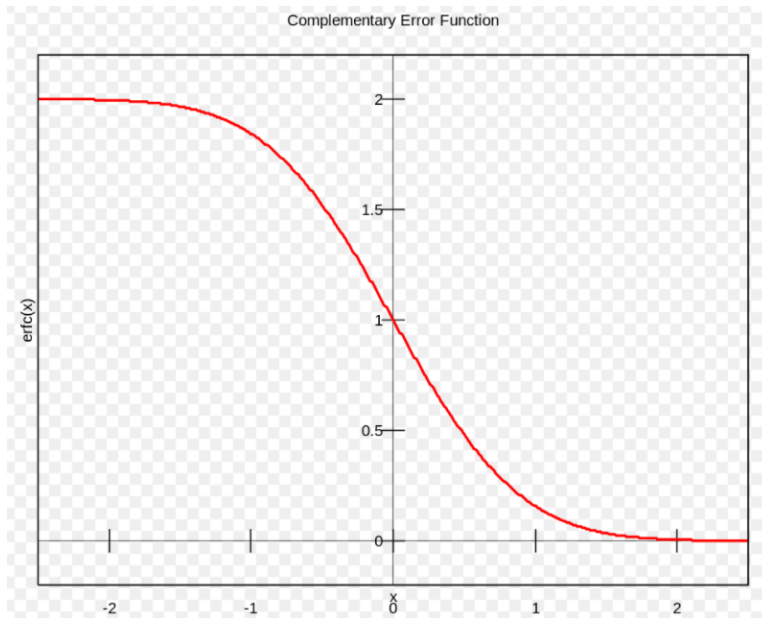


Figura 4 : sintesi del metodo Pinder e Cooper (1969) e grafico della funzione complementare di errore $erfc(X)$.

Si osserva che per $erfc(u,t)$ il sollevamento del livello piezometrico ha i valori più elevati quando la funzione è nulla (distanza x dal fiume = 0) e che a maggiori distanze i valori del sollevamento si riducono gradualmente a parità di T, S e t . Infatti posto pari all'unità il valore del denominatore della funzione $erfc(u,t)$, per $x = 0,5m$ il valore del sollevamento è di circa 0,4 m; per $x = 1m$ il valore del sollevamento è di 0,25.

Quando invece varia il valore della trasmissività con la distanza, e quindi quello della conduttanza dell'acquifero, si osserva che se la conduttanza media diminuisce di 100 volte. Alla distanza $x = 0,5m$ il valore di u aumenta da 0,5 a 5, e la fluttuazione piezometrica da valori ben evidenti quando la T è alta, diviene molto piccola e quasi insensibile.

Si conclude quindi che una riduzione della permeabilità di due ordini di grandezza si può normalmente realizzare solo in tempi molto lunghi per vie naturali, mentre è particolarmente rapido quando non vi sono rilasci di ingenti quantità di fanghiglie o di sostanze chimiche cementanti; pertanto, il fenomeno dell'intasamento deve preoccupare soprattutto le aree industrializzate e urbanizzate.

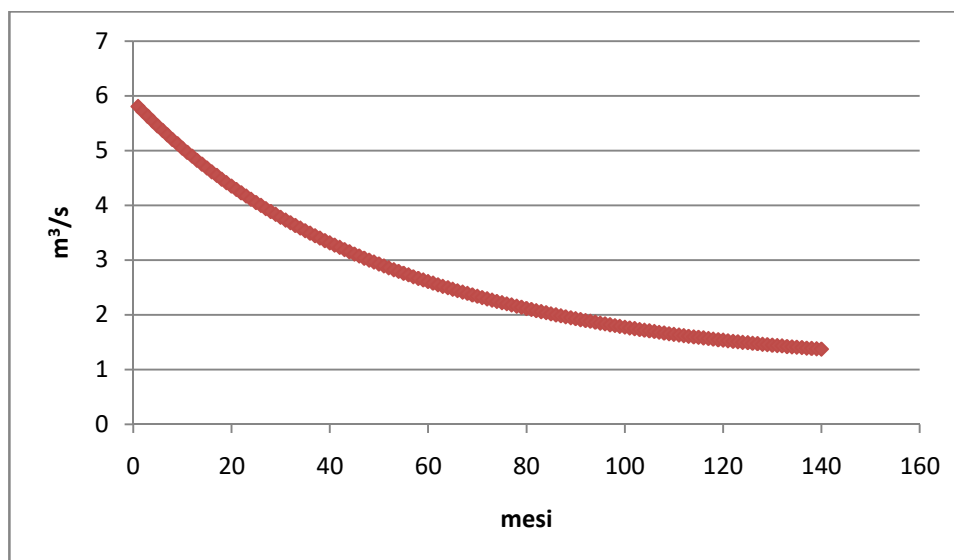
Determinazione dello stato di intasamento a scala di bacino

Per l'analisi degli effetti dello stato di intasamento dei corsi d'acqua a grande scala, è possibile ricorrere a valutazione basate sui dati del bilancio idrico regionale, analizzando la curva di recessione della piezometria intorno al corso d'acqua dopo le fasi di piena e confrontandola con l'idrogramma del corso d'acqua. Su queste basi si sono prodotti numerosi lavori di interesse, ad esempio Gischer e al. (2012) che mostrano esempi di analisi della curva di recessione dei corsi d'acqua. Ai fini della determinazione degli effetti dell'intasamento, gli studi citati mostrano come si possa averne una chiara definizione dal confronto degli idrogrammi e delle variazioni piezometriche nel lungo periodo, in generale per oltre dieci anni. Solo disponendo di un numero adeguato di dati, è infatti possibile individuare un numero sufficiente di punti per costruire un grafico dei valori del coefficiente di esaurimento del corso d'acqua in corrispondenza dei periodi nei quali l'influenza della falda sull'idrogramma sia irrilevante. Infatti, quando i livelli piezometrici sono elevati, l'esaurimento della piena si realizza in tempi minori.

Il grafico dei valori di esaurimento nel tempo permette di ricostruire la funzione che lega il tempo con trasmissività, permeabilità e immagazzinamento, parametri i cui valori sono influenzati dall'intasamento.

Generalmente si osserva una riduzione delle portate della fase di esaurimento con il passare del tempo; è necessario che le portate utilizzate per il calcolo siano quelle dei periodi nei quali il livello di falda è sicuramente disconnesso dal fiume.

Ad esempio lungo il F.Lambro a valle di Inverigo (Provincia di Monza) si è osservato nel corso degli anni una modesta diminuzione del valore delle portate di esaurimento, e sulla base di questi dati è stata costruita la curva delle riduzione delle portate rappresentata nella figura.



Utilizzando le relazioni più semplici proposte dalla letteratura, assimilabili a quella di Maillet (1905), si osserva che le curve di esaurimento dei corsi d'acqua seguono un andamento analogo a quello dell'esaurimento delle sorgenti: la portata Q' al tempo t è data da una funzione della portata Q in metri cubi/s che viene rilevata all'inizio della fase di esaurimento.

Q' si può ottenere quindi dall'idrogramma della piena, il cui andamento dipende dal tempo e dal coefficiente di esaurimento a :

$$Q' = Q \cdot e^{-at}$$

In caso di riduzione progressiva del valore di a , la funzione diviene :

$$Q' = Q \cdot e^{-dat}$$

In cui d è un coefficiente numerico adimensionale che può essere valutato sperimentalmente

Ad esempio, dal grafico si ricava che il valore del coefficiente di esaurimento è di circa 0,016 nella parte iniziale del periodo di misura, e scende di circa un centesimo di questo valore ogni mese.

La mancanza di ulteriori dati a supporto di queste osservazioni che discendono dalla letteratura esistente, rende necessaria una loro convalida con un approfondimento della tematica, e si possono ritenere utili queste indicazioni solo per un primo orientamento.

I corsi d'acqua lombardi

Studi sperimentali e su modello per la simulazione del comportamento dei corsi d'acqua disconnessi o semi-disconnessi sono in atto da tempo sui corsi d'acqua della Lombardia .Ad esempio Alberti e Masetti (2007) hanno effettuato ricerche su un tratto del F.Olona, in cui sono stati accoppiati dati sperimentali e modelli numerici per quantificare lo scambio tra acque superficiali e sotterranee e analizzare i fattori che maggiormente le influenzano . L'area di studio è stata localizzata in una lunghezza di 2 kmportata del fiume Olona in provincia di Milano (Nord Italia)

La zona insatura è di circa 13 metri di profondità, e anche dai dati sperimentali risulta che la perdita per infiltrazione dall'alveo in condizioni di equilibrio raggiunge, con portata dell'Olona pressoché costante, circa $6,53E-5$ m/s per ogni metro di lunghezza dell'alveo nel tratto considerato. I risultati del modello si dimostrano molto sensibili alla conducibilità idraulica dei sedimenti d'alveo sia in termini di ricarica acquifera che di incremento piezometrico locale. Una componente fondamentale nel determinare modalità e tempistiche dello scambio fiume-falda è quindi risultata la riduzione della permeabilità del fondo alveo per apporto di sedimenti fini.

Rilevanza dell'intasamento in caso di dissesto idrogeologico

Un'incidenza maggiore dell'intasamento si osserva nel caso di eventi naturali che provochino una rapida impermeabilizzazione dell'alveo. Si deve premettere infatti che l'intasamento dell'alveo favorisce il bank storage, cioè l'infiltrazione e la permanenza di un volume d'acqua in prossimità delle ripe, quando il livello di falda intorno all'alveo è più elevato di quello idrometrico. Infatti in tali circostanze l'intasamento prolunga gli effetti dei periodi di sollevamento del livello piezometrico perché viene a ridursi l'effetto del drenaggio operato dal corso d'acqua nella zona in cui è avvenuto l'intasamento. Di conseguenza durante le fasi di esaurimento le sponde sono

particolarmente soggette a fenomeni di instabilità. Infatti in questa fase la riduzione del livello idrometrico nell'alveo è rapida, mentre nella falda posta all'esterno l'abbassamento del livello piezometrico può essere molto lenta. Si crea così una pressione verso l'alveo che, in specie se la riva è già in dissesto, può produrne il franamento. Per rappresentare adeguatamente l'effetto nel tempo di un franamento di sponda che avvenga nella fase di esaurimento, e ricopra il letto del fiume con materiale poco permeabile, è possibile impiegare il metodo della sovrapposizione degli effetti. Con questo metodo si ottiene la variazione della portata del corso d'acqua sommando alla portata Q_u uscente dal fiume al tempo t (misurato a partire dal momento in cui è iniziato l'esaurimento con portata Q

$$Q_u = Q \cdot e^{-at}$$

una portata immaginaria Q_u' in ingresso, con un coefficiente di esaurimento inferiore al precedente; dopo un intervallo di tempo Δt dal momento in cui il sistema ha assunto il nuovo coefficiente di esaurimento, la portata immaginaria Q_u' quando l'intervallo di tempo durante il quale si verifica la sovrapposizione degli effetti è Δt , viene quindi rappresentata dall'espressione

$$Q_u' = Q e^{-a'\Delta t}$$

La portata Q' dalla somma delle due espressioni risulta:

$$Q' = Q (e^{-at} + e^{-a'\Delta t})$$

Il coefficiente di esaurimento dopo l'intasamento dovuto alla frana diminuisce se, ovviamente, il materiale franato ha granulometria più fine di quella dell'acquifero. Si nota dal grafico in figura 6 della Q' in funzione del tempo, che in seguito all'improvvisa riduzione del coefficiente di esaurimento si verifica un temporaneo aumento di portata, che poi torna a diminuire nel tempo con minore velocità.

Nei casi più comuni i franamenti non determinano l'impermeabilizzazione totale dell'alveo, per effetto della notevole capacità di erosione e trasporto della corrente in piena. Nel caso teorico di impermeabilizzazione totale il picco di portata conseguente alla frana potrebbe risultare accresciuto in modo rilevante.

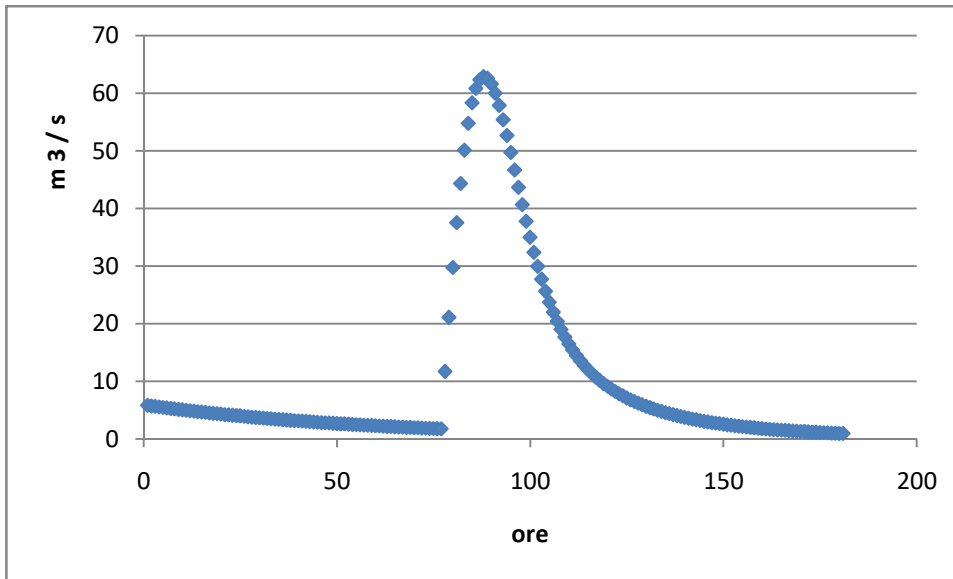


Figura 6 :Effetti dell'impermeabilizzazione improvvisa dell'alveo sulla portata Q'

Conclusioni

Dalla breve panoramica riportata e dagli esempi allegati risulta evidente che in natura l'intasamento avviene con lentezza e produce fenomeni facilmente controllabili con un adeguato sistema di monitoraggio.

L'intasamento avviene rapidamente, e può quindi portare ad una accentuazione molto sensibile dello squilibrio idrogeologico, quando la riduzione di permeabilità dell'alveo è determinata da fattori antropici, quali lo scarico di imponenti volumi di fanghiglie fognarie nei corsi d'acqua e il convogliamento di materiali fini nella rete idrica superficiale tramite i dreni delle strade di montagna. Da questo inconveniente è necessario cautelarsi con una progettazione che tenga conto di questo fenomeno e ne valuti adeguatamente le possibili conseguenze predisponendo le più opportune soluzioni.

Si deve rilevare che quando l'impermeabilizzazione dell'alveo è conseguenza di frane, gli effetti possono risultare particolarmente dannosi, per la rilevante accentuazione del livello di piena che ne può derivare.

L'esame della letteratura, pur non approfondito in questo scritto nel quale ci si è limitati a considerare casi e relazioni idrologiche particolarmente lineari, porta comunque a rimarcare l'incidenza ambientale del fenomeno e le sensibili difficoltà che ne possono derivare per l'equilibrio idrogeologico se non viene convenientemente previsto e caratterizzato.

Bibliografia

- Brunner P.; Cook P.G., Simmons C.T. (2011)-Disconnected surface water and groundwater: from theory to practice. GroundWater, New York
- Grischek T. & Bartak R. (2012) - Riverbed Clogging and Sustainability of Riverbank Filtration
- Gischer L., Hallot E., Houbrechts G., Van Campenhout J. & Petit F. (2012) - Analyse des débits en période de tarissement : essai d'un typologie régionale appliquée à des rivières du bassin de la Meuse (Belgique)
- Vergnes J.P., Decharme B., R. Alkama, & Martin E. (2012) A Simple Groundwater Scheme for Hydrological and Climate Applications: Description and Offline Evaluation over France
- Fuchs E.H., King J.P. and Carroll K.C. (2012) Quantifying Disconnection of Groundwater From Managed-Ephemeral Surface Water During Drought and Conjunctive Agricultural Use
- L. Alberti, G. Brogioli, G. Formentin, T. Marangoni, M. Masetti (2007) - Experimental studies and numerical modeling of surface water-groundwater interaction in a semi-disconnected system. Proceedings of the XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, 17-21 september 2007- Lisbon, Portugal
- Alberti L, Francani V, Longoni L (2004) Valutazione degli scambi idrici tra corsi d'acqua superficiali e falde per una gestione integrata delle risorse idriche: il caso del fiume Olona (Lombardia). Conference I piani di Tutela delle Acqua: gestione della qualità delle risorse idriche, Milano, Marzo 2004, CIPA Ed, Milano
- Alberti L, Guadagnini L (1999) Analisi e valutazione degli inquinamenti determinati dagli scambi idrici tra fiumi e falda. Paper presented at the 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma, published in Quaderni di Geologia Applicata, Vol. 1
- Geng Cui¹, Xiaosi Su², Yan Liu³ & Shida Zheng (2020) - Effect of riverbed sediment flushing and clogging on river-water infiltration rate: a case study in the Second Songhua River, Northeast China. Hydrogeology Journal Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020