

## **Effetti dei movimenti complessi lungo le faglie sulla circolazione idrica sotterranea**

Vincenzo Francani (Tethys S.r.l.)

### **Riassunto**

Nei progetti di gallerie profonde assumono notevole rilevanza le previsioni delle venute d'acqua, che non di rado si trovano in corrispondenza di zone di frattura e di faglia importanti. Alcune tipologie di faglie risultano influire in modo particolare sull'entità e direzione del flusso idrico, ed è quindi apparso utile un approfondimento, basato su dati sperimentali, sui collegamenti fra la tipologia delle faglie regionali e la circolazione idrica sotterranea. Lo studio ha preso in considerazione la tipologia di faglie che, secondo la letteratura, maggiormente si prestano a convogliare in profondità le acque che provengono da piogge e fusione delle nevi e quelle che si originano della rete idrica superficiale. Si è concentrata l'attenzione sulle faglie traspressive dotate di una componente rotatoria (wrench faults). Questo tipo di deformazione tettonica comporta in effetti sia lo stiramento dei due blocchi di roccia in più fasi e in direzioni diverse, sia un movimento rotatorio. Solitamente si formano intorno al blocco ruotato zone di detensionamento (damage zones) molto estese, che interessano anche la base dei blocchi sui quali avviene il movimento, a differenza di quanto generalmente si osserva negli altri casi.

Si sono quindi esaminati alcuni esempi di wrench faults di estensione regionale, ricavando una sintesi delle conseguenze idrogeologiche di queste non rare strutture, che comportano anche una concentrazione del flusso intorno ai corsi d'acqua e la deviazione lungo la faglia principale della direzione di flusso preferenziale

*Parole chiave:* faglie traspressive a componente rotatoria, venute d'acqua, gallerie profonde

### **Effects on groundwater flow of complex movements along faults**

#### **Abstract**

Forecasting of water inflows has a considerable importance in deep tunnel design. Some types of faults appear to have a particular influence on the consistence and direction of the water flow, and it has therefore appeared useful to investigate the links between the type of regional faults and the groundwater circulation on the basis of field data. The study took into account the type of faults that, according to the literature, are most suitable for conveying in depth the waters that come from rain and snow melt and those that originate from the surface water network. Attention was focused on transpressive faults with a rotary component (wrench faults). This type of tectonic deformation involves both stretching the two blocks of rock in several stages and in different directions, and a rotational movement. Usually very large areas of rock damage originate around the rotated block, which also affect the base of the blocks on which the movement takes place, unlike what is generally observed in other cases. Some examples of regional wrench faults were then examined, obtaining a synthesis of the hydrogeological consequences of these not rare structures, as the deviation of preferential flow direction along the main fault.

*Key words:* wrench faults, ground water inflow, deep tunnels

## **1 Considerazioni sulla diffusione delle aree nelle quali la tettonica trascorrente ha particolare rilevanza sulla circolazione idrica sotterranea**

Notoriamente le faglie trascorrenti comportano, per i due blocchi che ne sono separati, un movimento reciproco, il quale produce una fascia di detensionamento e deformazione che si estende anche a grande distanza dalla faglia principale. In questa fascia sono incluse faglie vicarianti della principale e zone di fratturazione intensa. Non sempre le superfici delle faglie principali sono verticali; quando si nota una spiccata componente su una superficie meno inclinata, si preferisce indicare la faglia come traspressiva. Questa distinzione è significativa, perchè queste componenti oblique danno luogo a importanti deformazioni (strutture a fiore positive o negative) che si caratterizzano per la maggiore apertura e persistenza delle discontinuità. Quando le faglie traspressive mostrano che i blocchi sono anche ruotati gli uni rispetto agli altri, si preferisce segnalarlo indicandole come "wrench faults" per caratterizzare adeguatamente il tipo di movimento al quale sono state sottoposte

### **1. 1 Le principali strutture idrogeologiche delle faglie con marcata componente rotatoria**

. Notoriamente le conseguenze dello stato di fratturazione risultano tanto più marcate quanto più incidono sulle disponibilità idriche sotterranee, quindi sono evidenti soprattutto nelle rocce carbonatiche, dove la fratturazione favorisce anche l'aumento di porosità e permeabilità per carsismo. Nella zona apina e prealpina e in quella degli Appennini umbro-marchigiani e campani, dove il carsismo è particolarmente sviluppato, la ricerca ha posto in evidenza aspetti di particolare interesse, anche grazie al rinnovo della cartografia geologica di base. Gli esempi di strutture di questo tipo sono numerosi, e molti fogli geologici del progetto CARG evidenziano accuratamente le faglie trascorrenti. E' così possibile ora utilizzare per le finalità applicative questi strumenti, e appare utile in questa disamina elencare alcune possibili applicazioni delle nuove cartografie all'analisi del flusso idrico sotterraneo per chiarire alcuni degli esempi più significativi. Nelle aree in cui sono presenti faglie trascorrenti, vengono segnalate ripetutamente anche esempi di tear faults, di faglie traspressive e wrench faults, che sono in grado di creare un notevole detensionamento della roccia.



Figura 1 : Concentrazione di afflussi idrici creati da faglie trascorrenti di trazione dirette NO-SE verso le valli circostanti

. Nel caso della figura 1, i blocchi che si muovono lungo faglie di trazione con superfici verticali, sono sospinti da NO verso SE dai movimenti della Piattaforma Lombarda lungo la linea delle Giudicarie, posta poco a Nord. Si nota che lungo queste faglie la circolazione idrica mette in contatto sottobacini

idrogeologici diversi, favorendo lo sviluppo del carsismo su un'ampia vasta area. Si fa notare la componente rotatoria visibile negli ammassi rocciosi triassici nell'angolo nordoccidentale della figura.

Nelle figure 2 e 3 si mostrano esempi di strutture a fiore e di faglie transpressive ricavate dal Foglio CARG Tione

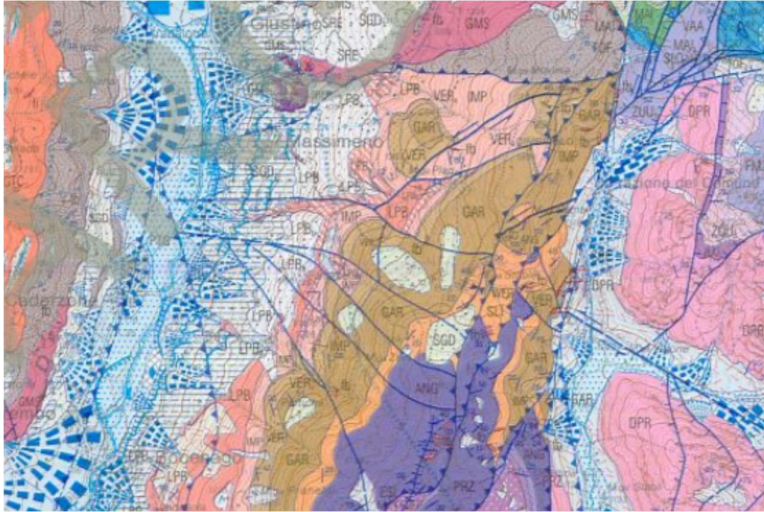


Figura 2: lungo la linea delle Giudicarie si sviluppano movimenti composti, in cui la compressione da Est si accompagna a quella da Nord; il risultato sono strutture assimilabili a quelle a fiore, molto sviluppate in orizzontale.

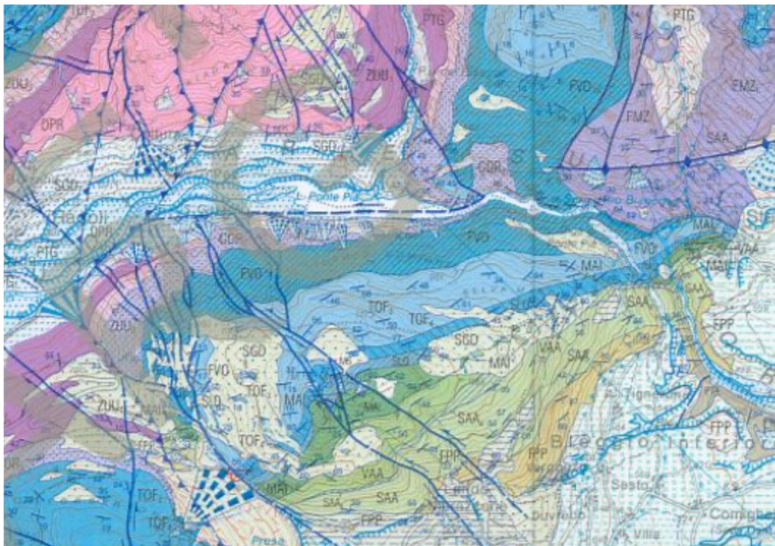


Figura 3 : nella parte orientale dell'area, si notano faglie transpressive che hanno l'effetto di creare una vasta circolazione idrica e fenomeni di erosione e franosità lungo i versanti.

Nella figura 4 sono riportate invece alcune indicazioni a commento del recente foglio geologico Trento, in un punto in cui sono rappresentate le faglie principali e secondarie, fra le quali la più notevole è quella del M. Calisio, che è il risultato di una complessa successione di movimenti, come risulta dalle note illustrative del foglio e dalla letteratura geologica. Lungo queste faglie si nota come la circolazione idrica superficiale e sotterranea sia particolarmente sviluppata, con molte sorgenti e con corsi d'acqua e specchi lacustri. Alcune di queste faglie, da una prima interpretazione, appaiono collegate con una probabile struttura a fiore, in cui

le rocce del substrato poco permeabile vengono portate in superficie determinando uno sbarramento e conseguente deviazione delle acque sotterranee

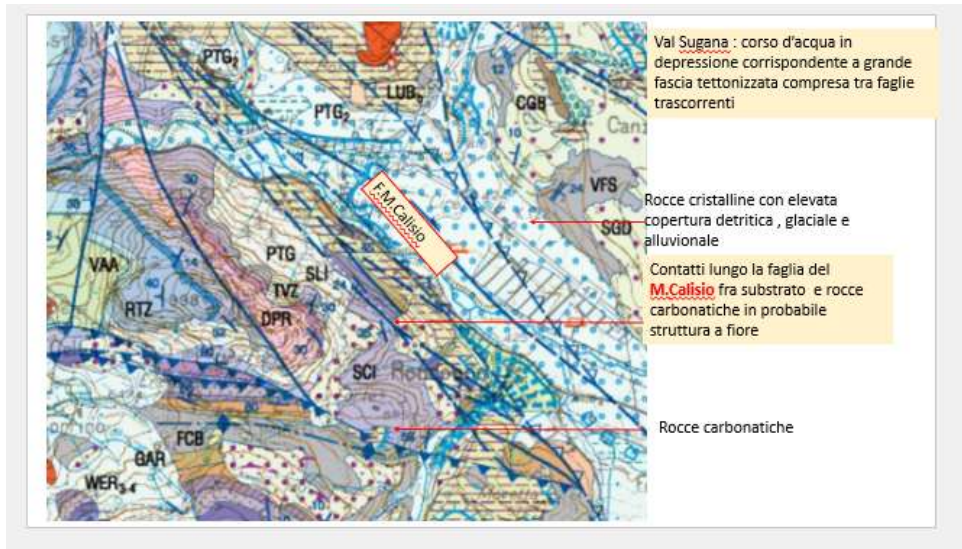


Figura 4 Effetti delle faglie trascorrenti sulla rete idrica superficiale e sul flusso sotterraneo in Val Sugana (Foglio Trento)r

## 2. Le principali strutture idrogeologiche delle faglie con marcata componente rotazionale

### 2.1 Ammasso roccioso interessato da faglie verticali

Sulla base di quanto riportato nella cartografia geologica recente ora descritta, l'analisi geologica di queste strutture comporta inizialmente l'esame dei blocchi omogenei in cui si può suddividere il territorio considerato; nel caso delle wrench faults in cui la rotazione avviene su piani verticali, si sviluppano ampie damage zones, come quelle rappresentate sinteticamente in rosso nella figura 1.

Nell'immagine si notano un blocco centrale ruotato e separato dalla faglia divisoria da un blocco occidentale; i settori più interessati dalla fratturazione sono indicati in colore rosso più intenso,

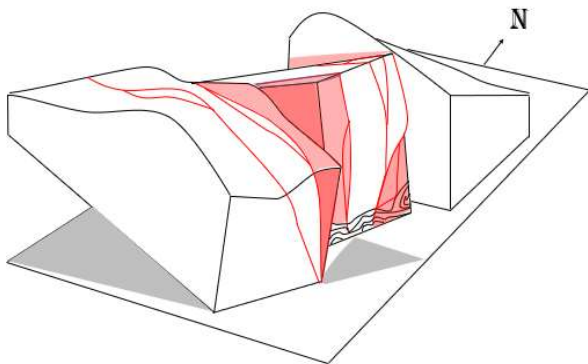


Figura 5 : si osservano ampie zone di detensionamento ( in colore rosso ) lungo i contatti di blocchi ruotati separati da faglie verticali

e corrispondono alle seguenti strutture:

1. scaglie tettoniche lungo le faglie divisorie a componente rotatoria
2. Compressione e deformazione del substrato plastico
3. Strutture a fiore
4. Ampliamento della zona di detensionamento e deformazione lungo faglie e in profondità

*Effetti idrogeologici:* In superficie si nota come si vengano a formare depressioni e avvallamenti lungo il nucleo e la zona di detensionamento (damage zone) delle faglie. In profondità per alcune decine di metri si ha un incremento dell'apertura, della frequenza e della persistenza delle discontinuità, che nelle rocce cristalline e in quelle sedimentarie può determinare un incremento di un ordine di grandezza della permeabilità ; aumenti di apertura, frequenza e persistenza molto maggiori si registrano notoriamente nelle rocce carbonatiche esposte al carsismo.

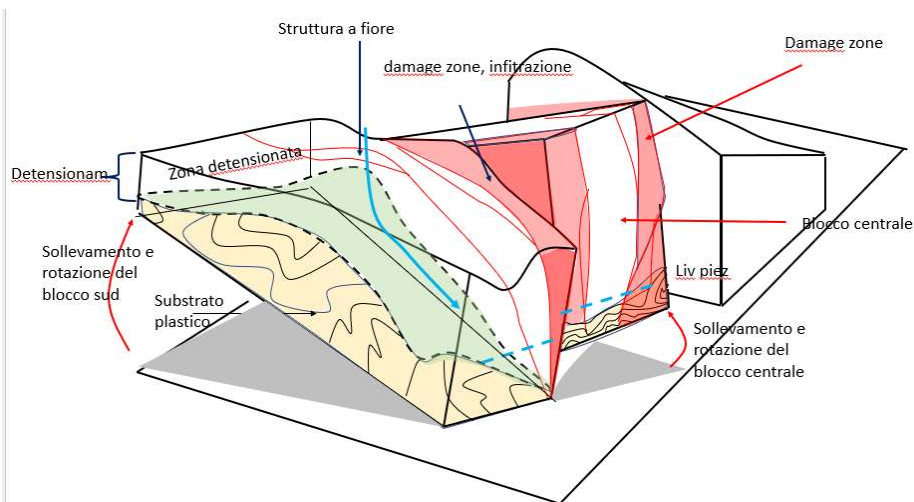


Figura 6 : effetti idrogeologici delle strutture a fiore. Si nota che la superficie del substrato impermeabile si innalza e affiora, facilitando l'infiltrazione in profondità (freccia azzurra)

Pertanto la presenza di wrench faults determina di per sé cambiamenti nel bilancio idrico, che si concretano nell'aumento dell'infiltrazione in profondità. In presenza di un substrato poco permeabile che agisce come acquicluda, possono avere origine sorgenti alimentate da acquiferi che possono essere estesi e continui.

Le conseguenze idrogeologiche più comuni e palesi risultano quindi, in questo caso, la sottrazione di acque dalla superficie e il loro convogliamento a profondità con afflussi che possono essere anche considerevoli.

Quando il substrato è profondo, le sorgenti naturalmente diminuiscono di numero e frequenza, in quanto raramente il livello piezometrico interseca il versante.

## 2..2 Ammasso roccioso suddiviso in blocchi separati da faglie inverse e sovrascorrimenti

In queste circostanze l'inclinazione delle faglie e dei sovrascorrimenti è determinata dalle spinte agenti sui blocchi, che producono anche piegamenti negli ammassi rocciosi e deformazioni spesso importanti (falde di

ricoprimento). L'ammasso roccioso si presenta quindi generalmente più fratturato e permeabile del caso precedente, e l'ampiezza della fascia tettonizzata lungo le faglie divisorie dei blocchi principali risulta alquanto più ampia nella maggior parte dei casi, per la

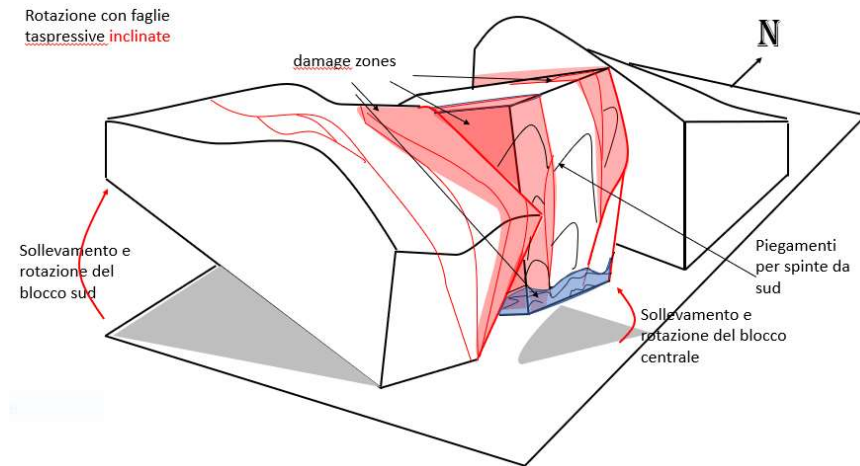


Figura 7 blocco centrale ruotato e sottoposto a spinte che hanno dato luogo a faglie inclinate e sovrascorrimenti. Al centro del blocco meridionale è rappresentata una struttura a fiore

giacitura sfavorevole delle discontinuità. Tali condizioni si ripercuotono anche sul substrato plastico eventualmente presente (blocco centrale della F3) che risulta scompaginato e tettonizzato per l'effetto delle spinte che hanno creato pieghe e sovrascorrimenti e per lo scorrimento differenziale, sulle rocce del substrato stesso, di quelle più compatte sovrastanti.

Si riscontrano quindi abitualmente:

1. Compressione e deformazione del substrato plastico
2. Strutture a fiore
3. Ampliamento della zona di detensionamento e deformazione lungo faglie e in profondità
4. Genesi di scaglie tettoniche vicino alle faglie che dividono i blocchi .

Agli *effetti idrogeologici*, tali condizioni si concretano in un ampliamento di quelli rilevati per le faglie trascorrenti verticali, e soprattutto nell'estensione decisamente più importante della circolazione idrica in profondità, dove la fascia tettonizzata si allarga in modo significativo , raggiungendo anche il centinaio di metri di spessore.

### 2.3 Ammasso interessato da wrench faults e da faglie trascorrenti verticali

Lungo le faglie trascorrenti che separano blocchi interessati da movimenti rotazionali , si sviluppano generalmente :

1. Strutture di Riedel , scaglie tettoniche, tear faults
2. Compressione e deformazione del substrato plastico
3. Strutture a fiore

#### 4. Ampliamento della zona di detensionamento e deformazione lungo faglie e in profondità

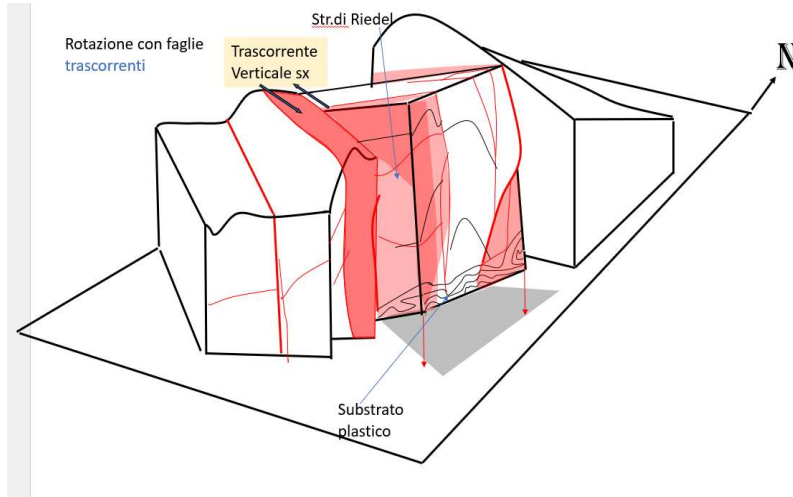


Figura 8 : Faglie trascorrenti che intersecano blocchi ruotati. Le damage zones sono interessate anche da strutture di Riedel e da tear faults, che producono uno stato di fratturazione spesso molto intenso per un'ampia fascia.

Le strutture di Riedel sono continue ed estese ai lati della faglia trascorrente e interessano gli ammassi rocciosi circostanti aumentandone in modo consistente il grado di detensionamento.

Questa rete di grandi discontinuità si sovrappone alle scaglie tettoniche che si formano nel corso della trascorrenza, e sono solitamente accompagnate da tear faults ad esse parallele. Questo sistema di discontinuità ha effetti distruttivi sul blocco centrale ruotato, in quanto vi si producono damage zones con fasce di rocce aperte soprattutto in corrispondenza delle faglie divisorie dei blocchi.

Le *conseguenze idrogeologiche* consistono quindi nella creazione di ampie reti di discontinuità in prossimità del contatto tettonico fra i blocchi principali e le faglie trascorrenti, lungo le quali si è osservato che le acque sotterranee si incanalano anche fino a centinaia di metri di profondità su aree distanti anche oltre un km dalle faglie trascorrenti.

### 3.1 Il flusso idrico sotterraneo e la morfologia della superficie piezometrica

Una caratteristica fondamentale della damage zone dei casi esposti consiste nelle importanti modificazioni della piezometria che vi si verificano; tali variazioni dipendono dal locale aumento della trasmissività che le strutture rilevate comportano. Lo schema della circolazione idrica può venire alterato profondamente dalla presenza di tale zona di maggiore trasmissività, ed è parso opportuno verificare con calcoli esemplificativi le variazioni del flusso che appaiono di maggiore interesse per la stabilità dei versanti e per lo sfruttamento delle riserve idriche. Si può a tal fine anzitutto considerare che la presenza di un ampio settore di maggiore trasmissività rende l'acquifero più produttivo, in quanto facilita il richiamo di nuovi afflussi dalle fonti di alimentazione eventualmente presenti nel bacino idrogeologico. Ipotizzando che la zona più trasmissiva così prodotta sia in posizione centrale fra quella di alimentazione e quella di recapito, si ricava dalla nota relazione di Dupuit che questa zona centrale ha un gradiente idraulico inferiore rispetto agli altri due settori. meno elevato di quanto avviene nel mezzo uniforme.

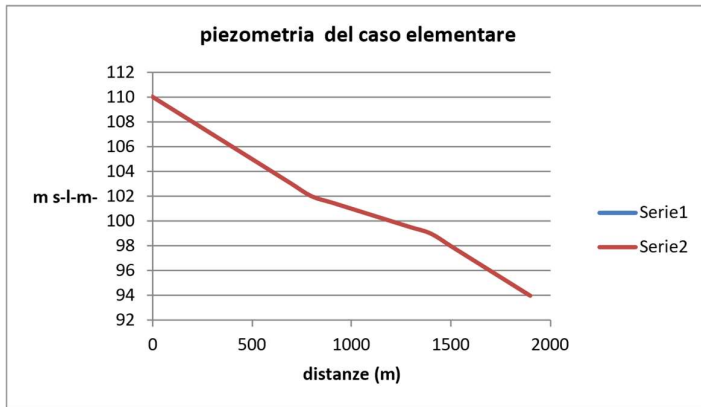


Figura 9 piezometria corrispondente al caso elementare in cui l'acquifero si divide in tre prismi dei quali quello centrale ha trasmissività maggiore

Si ritiene che sia importante valutare anche gli effetti piezometrici di una struttura geologica, molto comune nelle strutture a fiore positive, che portano in prossimità della superficie frammenti del substrato roccioso impermeabile. Queste scaglie possono essere di dimensioni considerevoli e tali da ostacolare per la loro minore trasmissività il flusso idrico sotterraneo, che può essere costretto ad aggirarle deviando verso i comparti laterali, in senso quasi ortogonale.

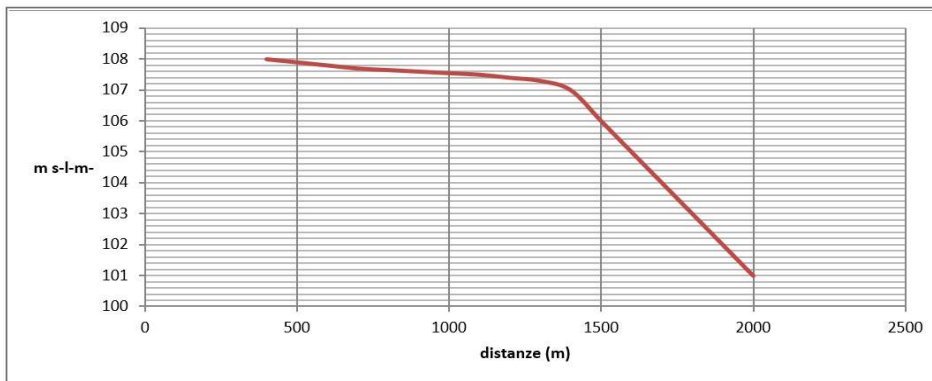


Figura 10 : piezometria nel caso in cui la zona centrale (fra 1000 e 1200 m) sia interessata da trasmissività maggiore, e vi sia un'estrusione di substrato impermeabile che sbarra il flusso (x = 1300-1400m)

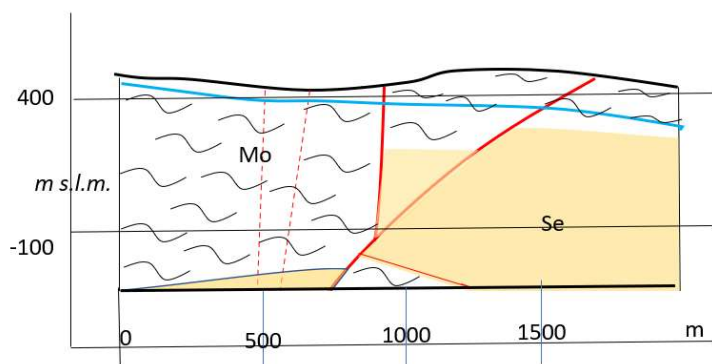




Figura11 : si nota l'effetto di sbarramento piezometrico (liv.piez in azzurro) prodotto dalla struttura a fiore positiva, con il sollevamento del substrato poco permeabile Se. La conseguenza di questa struttura è la deviazione del flusso lungo la zona di frattura transpressiva, normale al piano del disegno.

#### 4. Discussione dei risultati

E' stata eseguita una verifica dei risultati dello studio, tramite una semplice analisi della varianza campionaria e dell'indice di concentrazione, esaminando i parametri idrogeologici in prossimità dei corsi d'acqua impostati su wrench faults.

Anzitutto il territorio studiato nel corso di un progetto di tunnel profondo fra Piemonte e Liguria è stato suddiviso in maglie, e per ciascuna di esse è stata calcolata la varianza campionaria (rapporto fra varianza nella maglia e varianza del campo di studio) delle portate misurate al fine di esaminare la distribuzione geografica della potenzialità idrica degli acquiferi.

Fra 0 e 100 m dal corso d'acqua la varianza campionaria risulta compresa in un intervallo fra 2,5 – 2,8, e si riduce a 0,14-0,17 fra 100 e 200 m. Si può ritenere che l'ampiezza delle oscillazioni delle portate in prossimità dei corsi d'acqua che determina l'incremento della varianza, testimoni la buona interconnessione fra la rete idrica superficiale e sotterranea. La mancanza di dati in profondità non permette tuttavia di andare oltre questa constatazione.

Successivamente, al fine di controllare tramite un indice di concentrazione che i maggiori valori di permeabilità coincidono con le zone di wrench fault, sono stati presi in considerazione apertura e frequenza delle discontinuità in affioramento su superfici non alterate (Snow, 1966). Tali valori sono stati cartografati ricavandone la distribuzione geografica dell'indice B (Bonferroni, 1931), che valuta il peso delle differenze rispetto alla media dei valori delle proprietà dei punti esaminati. I valori di B prossimi a zero indicano una rilevante omogeneità nella distribuzione della permeabilità; quindi valori prossimi all'unità segnalano invece una consistente disuniformità, o una accentuata polarità nella ripartizione geografica di questo parametro.

I valori di B sono così distribuiti in classi percentuali:

da 0 a 25 .....82%

25-50.....12%

50-75.....6%

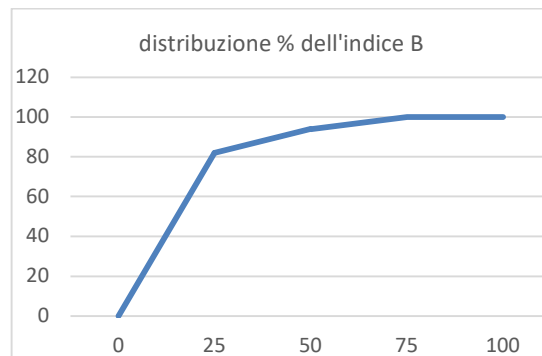


Figura 12 : indice di concentrazione dei valori di permeabilità

I valori dell'indice B si attestano intorno a 0,27, segnalando quindi una buona uniformità della loro distribuzione nelle aree a elevato indice di fratturazione

Si nota che la consistenza dell'acquifero e la sua estensione areale sono dimostrate dal notevole numero di sorgenti nella fascia di 100 m prossima a uno dei corsi d'acqua, e dalla continuità del regime dei piccoli torrenti della zona, agevolata indubbiamente dall'elevato coefficiente di immagazzinamento dei terreni ghiaioso sabbiosi che costituiscono l'acquifero.

I risultati di questo rilevamento idrogeologico hanno quindi portato a evidenziare che gli acquiferi di maggiore interesse sono localizzati prevalentemente nelle aree di maggiore fratturazione.

### **Conclusioni**

Lo studio, basato soprattutto sulle evidenze presentate dai fogli geologici CARG di recente rilevamento, integrate dalle risultanze di studi progettuali per gallerie profonde in Lombardia, Trentino e Liguria, è un primo esame degli effetti sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea di strutture geologiche complesse come le wrench faults, che comportano un movimento rotatorio differenziale degli ammassi rocciosi. Dal confronto delle osservazioni di terreno con la letteratura esistente, si è verificato come in questi casi si creano e si ampliano fasce di intensa fratturazione lungo le wrench faults. In queste ampie fasce di frattura si ha spesso la formazione di falde sospese acquifere, che quando sono abbinate a fasce di fratture (tear faults e strutture di Riedel poco inclinate) generano condizioni di pericolosa franosità. Tali strutture, in particolare quelle a fiore, favoriscono il convogliamento in profondità delle acque di infiltrazione, mentre l'eventuale estrusione di porzioni del substrato poco permeabile che ad esse si possono accompagnare, producono deviazioni laterali del flusso idrico superficiale e sotterraneo lungo le faglie. I fogli geologici di recente rilevamento forniscono numerosi e interessanti esempi dei fenomeni descritti, che per la loro estensione e importanza pratica giustificano l'attualità di questo tema di ricerca.

### **Bibliografia**

AA.VV. (2020) -Linee guida per la gestione sostenibile delle venute d'acqua e del calore geotermico nelle gallerie, Acque sotterranee.

AA.VV. (2017) – Note illustrative del Foglio Seregno CARG . Regione Lombardia, Milano)

AA.VV. (2000) -Atti della prima conferenza nazionale sulla tutela delle acque (Roma, 28 - 29 e 30 Settembre 1999). Volume Ministero dell'Ambiente. A

A.VV. (2004) – Sviluppi degli studi di sedimentologia degli acquiferi e acque sotterranee in Italia. Volume APAT – Regione Lombardia.

AA.VV.(2005) - Hydrogeological Map of Southern Italy.

APAT(2005)- Environmental Protection and Technical Services Agency – University of Naples “Federico II” Department of Geophysics and Volcanology. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

AA.VV. (2009) – Piano di Tutela delle Acque della Regione Molise. 16 Giugno 2009.

AA.VV. (2000) – Atti della Prima Conferenza Nazionale Sulla Tutela Delle Acque (Roma, 28 - 29 e 30 Settembre 1999). Volume Ministero dell'Ambiente.

AA.VV (2015) – Note illustrative dei Fogli CARG Tione e Trento, ISPRA, Regione Trentino Alto Adige.

Agostoni S. Papini M. (1988)-. Influenza delle miloniti sulla stabilità dei versanti in val Tartano. *Le strade anno I.XXXX*, n.1251.

Antonellini, M., Aydin, A., (1995). Effetto delle faglie sul flusso in arenarie porose: geometria e distribuzione spaziale. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79, 642–671.

Bieniawski, Z.T. (1989)-. Classificazioni ingegneristiche delle masse rocciose. *New York: Wiley*.

Boni C., Bono C. & Capelli G. (1986) – Schema idrogeologico dell'Italia centrale. Mem. Soc. Geol. It., n° 35/2, pp.991-1012

Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B. (1996). Architettura della zona di faglia e struttura di permeabilità. *Geologia* 24, 1025-1028.

Cavailles T., Sizun J.P., Labaume P., Chauvet A., Buatier M., Soliva R., Mezri L., Charpentier D., Leclere H., Trave A., Gout C. (2013). Influenza della foliazione delle rocce di faglia sulla permeabilità della zona di faglia: il caso di arenarie arkosiche profondamente sepolte (Grés d'Annot, SE France). *Toro AAPG*, 97 (7) (2013), pp. 1521-1543.

Celico P.(1986) -Prospezioni idrogeologiche , Liguori, Palermo

Crosta G.B. e al (2007) -IFFI Inventario dei fenomeni franosi in Lombardia. Regione Lombardia, ISPRA.

Evans, J.P., Forster, C.B., Goddard, J.V. (1997). Permeabilità delle rocce legate alla faglia e implicazioni per la struttura idraulica della zona di faglia. *Giornale di geologia strutturale* 19, 1393-1404.

Faulkner D.R., Jackson C.A.L., Lunn R.J., Schlische R.W., Shipton Z.K., Wibberley C.A.J (2010). Una revisione dei recenti sviluppi riguardanti la struttura, la meccanica e le proprietà di flusso dei fluidi delle zone di faglia, *Journal of Structural Geology*, 32: 1557-1575.

Foster C.B., Evans J.P. (1991). Idrogeologia delle faglie di spinta e dei fogli di spinta cristallini: risultati di studi combinati di campo e modellistica. *Lettere di ricerca geofisica*, vol. 18, 5: 979-982.

Franconi V., Papini M - Volpatti P. (1989). Indagine geologica sulla frana della pruna. *Le strade*, n.1258.

Gaetani M. Jadoul (1979) - La struttura delle Alpi Bergamasche. Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Rendiconti Lincei Matematica E Applicazioni

Gattinoni P. (2009). Modellazione parametrica delle frane per la valutazione della suscettibilità idrogeologica: dalla Valle del Crati alla frana di Cavallerizzo (Sud Italia). *Pericoli naturali*, 50: 161-178.

Gattinoni P. M. Consonni e al. (2019)- Tunnelling in landslide areas connected to deep seated gravitational deformations. An example in Central Alps. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Elsevier, Paris.

Gattinoni P., Scesi L. (2007). "Controllo della rugosità sulla conducibilità idraulica nelle fratture", *Hydrogeology Journal*, 15: 201-211.

Gattinoni P., Scesi S., S. Scorciolla (2014). Caratterizzazione geomeccanica su scala micro-macro di rocce di faglia. *14th GeoConference on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, Bulgaria*, 17-26 giugno 2014, Vol 2, pp 597-604. ISBN 978-619-7105-08-7, ISSN 1314-2704.

GeoIFFI (2006). L'inventario regionale (1:10.000) delle frane e degli eventi idrogeologici, Regione Lombardia, Italia [[www.cartografia.regione.lombardia.it7GeoIFFI](http://www.cartografia.regione.lombardia.it7GeoIFFI)]

Gosso G., Spalla M.I., Bini A., Siletto G.B., Berra F. e Forcella F. (2012). Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 057 Malonno. APAT - Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia, Roma.

Gudmundsson A. (2000). Zone di faglia attive e flusso delle acque sotterranee. *Lettere di ricerca geofisica*, vol. 27, n. 18, pagine 2993-2996.

Lopez D. L., Smith L. (1995). Flusso di fluidi in zone di faglia: analisi dell'interazione tra circolazione convettiva e flusso topografico delle acque sotterranee. *Water Resources Research*, Volume 31, Numero 6, pagine 1489–150.

Perrella E., Baranello S., Scapillati N., Cardarelli G., Nerone V., Celico F. (2007) – Carta Idrogeologica del Molise (scala 1: 50.000)

Pozzi R. (1970). Lineamenti idrogeologici della Provincia di Sondrio. *Geologia Tecnica*, n.4,ed. IPI,Milano

Rawling G.C, Goodwin L.B, Wilson J.L. (2001). Architettura interna, struttura di permeabilità e significato idrologico dei tipi di zone di faglia contrastanti. *Geologia*, 29, 43-46.

Rouleau A., J. E. Gale (1985). Caratterizzazione statistica del sistema di frattura nel Granito di Stripa, Svezia. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 22, 353–367,

Scesi L., Gattinoni P. (2009). Circolazione dell'acqua nelle rocce. *Springer 2009*, p. 172, ISBN: 9048124166.

Scheingross J.S., Minchew B.M., Mackey B. H., Simons M., Lamb M. P. e Hensley S. (2013). Controlli delle zone di faglia sulla distribuzione spaziale delle frane a lento movimento. *Bollettino GSA*; marzo/aprile 2013; v. 125; n. 3/4; pagg. 473-489.

Shields, A. (1936). Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. *Mitteilung der preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau*, 26, Berlino.