

# Proposta di integrazione dei metodi di previsione dell'impatto delle gallerie sulle sorgenti

A cura di V. Francani e Rampolla C.

## Introduzione

Dopo l'evidente dissesto prodotto sulle importanti sorgenti impoverite dal traforo del Gran Sasso, soprattutto a partire dagli anni 2000 si è data molta importanza alle criticità determinate dalle venute d'acqua in galleria. La presente nota sintetizza i pregi di alcune metodologie in uso per la previsione degli afflussi alle gallerie e del loro impatto sul regime delle acque superficiali e delle sorgenti.

Si evidenzia così l'opportunità di validarne i risultati con attività di monitoraggio in modo da ottenere previsioni il più possibile aderenti agli obiettivi di progetto. Sono stati esposti alcuni metodi parametrici ed esempi di modelli idrogeologici.

### **1. METODI PARAMETRICI**

Di seguito vengono schematizzati due metodi che permettono di valutare questi rischi:

- metodo DHI
- Metodo IMS

#### Metodo DHI

Il metodo DHI è un tipico metodo parametrico per la valutazione del rischio, espresso da un indice chiamato "DHI" (Drawdown Hazard Index) che classifica la probabilità di **svuotamento del flusso della sorgente** in relazione all'occorrenza della probabilità di afflusso e alla vulnerabilità della sorgente. Il DHI si basa sulla Teoria dei Sistemi applicata all'ammasso roccioso, presentata da HUDSON nel 1992 con il nome di "Rock Engineering Systems" (RES) (Dematteis, Kalamaras, & Eusebio, A system approach for evaluating springs drawdown due to tunneling, 2001). Il sistema galleria- acquifero viene rappresentato da 8 variabili, che sono in relazione con il fenomeno di abbassamento della falda e dell'isterilimento delle sorgenti. Ad ognuna delle variabili sopra elencate viene attribuito un peso secondo la tabella riportata di seguito.

CODICE	Descrizione	
OV	Spessore copertura	0.9 = copertura < 50 m 0.5 = copertura tra 50 m e 100m 0.2 = copertura tra 100 m e 500m 0.1 = copertura > 500 m
PZ	Estensione zona plastica	1= raggio zona plastica è > di 2 volte il raggio della galleria 0= raggio zona plastica è < di 2 volte il raggio della galleria
MK	Permeabilità massiccio	0.9 = alta 0.75 = medio alta 0.5 = media 0.25 = medio- bassa 0.1 = bassa
IF	Intersezione con faglie maggiori	2= Intersezioni presenti 1= nessuna intersezione

DT	Distanza tunnel	1.9= distanza ass. < 200 m 1.5= distanza ass. < 500 m 1.2= distanza ass. < 1000 m	1.1= distanza ass. >1000 m 0 = distanza ass. > 5000 m
TS	Tipo sorgente	2= sorgente profonda 1.5= sorgente mista 1= sorgente superficiale	
FF	Frequenza di fratturazione	1= faglie principali e zone di fratturazione 0.8= faglie minori 0.1= assenza	
ET	Effetto topografico	2= distanza vert. >0 e stesso versante 1.5= distanza vert. >0 stesso versante OPPURE distanza vert. < 0 e altro versante 1= distanza vert. < 0 e altro versante	

Definite le variabili fondamentali del sistema esaminato (x) il Fully-Coupled Model (FCM) prevede, come passo successivo, la determinazione di tutte le relazioni dirette intercorrenti fra esse. Trattandosi di relazioni dirette, il meccanismo attraverso il quale  $x_i$  influenza  $x_j$  ha la forma:

$$x_j = f_{ij}(x_i) \text{ se } i \neq j \quad x_i = x_j \text{ se } i = j$$

Viceversa, l'influenza di  $x_i$  su  $x_j$  è determinata dalla derivata parziale di  $x_j = f_{ij}(x_i)$  rispetto a  $x_i$ . Riportando tutte le relazioni dirette su una matrice si ottiene la BIM (Binary Interaction Matrix), all'interno della quale il termine  $f_{ij}$  rappresenta l'influenza diretta che la variabile  $x_i$  ha rispetto alla variabile  $x_j$ :

0	$f_{12}$	$f_{13}$	$f_{14}$	$f_{15}$
$f_{21}$	0	$f_{23}$	$f_{24}$	$f_{25}$
$f_{31}$	$f_{32}$	0	$f_{34}$	$f_{35}$
$f_{41}$	$f_{42}$	$f_{43}$	0	$f_{45}$
$f_{51}$	$f_{52}$	$f_{53}$	$f_{54}$	0

Se l'interazione fra variabili è espressa da una relazione lineare i coefficienti della BIM sono delle costanti. In questa prima fase del metodo si assume che ciascuna variabile non influenzi sé stessa (i termini sulla diagonale della BIM sono sempre nulli) in quanto si stanno considerando solo relazioni binarie. La BIM descrive infatti la struttura matematica fondamentale del sistema e contiene solo le relazioni dirette fra variabili. Il passo successivo è quindi quello di stabilire come queste relazioni binarie operano congiuntamente. Tale rappresentazione considera solo 4 delle 8 variabili precedentemente definite, in particolare considera le variabili che si riferiscono alle caratteristiche dell'acquifero e che concorrono a determinarne il drenaggio potenziale (PI) ovvero FF, MK, OV e PZ. Le relazioni dirette che interessano tali variabili e il PI possono essere raccolte in una matrice del tipo seguente:

0	$f_{12}$	0	$f_{14}$	$f_{15}$
0	0	0	0	$f_{25}$
0	$f_{32}$	0	$f_{34}$	0
$f_{41}$	$f_{42}$	$f_{43}$	0	$f_{45}$
0	0	0	0	0

Le quattro variabili di sistema escluse dalle considerazioni precedenti (DT, IF, TS, ET) sono state diversamente considerate nel metodo. Anche se in generale le relazioni che legano due variabili

fondamentali del sistema acquifero - galleria non sono lineari. Assegnando quindi dei pesi alle iterazioni descritte qualitativamente nella tabella precedente è stata ottenuta la BIM del sistema acquifero – galleria, mostrata nella tabella seguente.

0	0.8	0	0.5	0.5
0	0	0	0	0.8
0	0.3	0	0.5	0
0.3	0	0	0	0.3
0	0	0	0	0

*Pesi della BIM riferita al sistema acquifero - galleria*

I processi che si verificano all'interno del sistema acquifero - galleria sono più complessi di quanto rappresentato dalle interazioni dirette fra le variabili fondamentali che lo costituiscono. E' necessario, infatti, tenere in considerazione che le perturbazioni si trasmettono da una variabile all'altra mediante meccanismi concatenati che coinvolgono l'intero sistema.

Per rappresentare adeguatamente tali meccanismi può essere utilizzata la GIM (Global Interaction Matrix) costruita a partire dalla BIM considerando tutti i possibili percorsi con cui una perturbazione può propagarsi all'interno del sistema. La GIM è costituita dai coefficienti  $G_{ij}$  che rappresentano l'interazione globale (cioè che si manifesta indirettamente anche attraverso le altre variabili) fra le variabili  $x_i$  e  $x_j$  e che vengono calcolati a partire dai coefficienti  $f_{ij}$  della BIM. La nozione di "percorso" può essere adeguatamente rappresentato mediante grafi che collegano le variabili fra le quali sussiste una relazione binaria e che sono orientati coerentemente con il verso della relazione stessa.

Il metodo viene applicato in due fasi: in primo luogo, le variabili che influenzano la probabilità di generazione di PI (potenziale afflusso) all'interno dei settori della galleria sono valutate e ponderate; in secondo luogo, il valore PI ottenuto viene ulteriormente ponderato, in relazione alla vulnerabilità locale, al fine di ottenere il valore DHI finale.

$$Pi(n) = (0.41 \cdot FF(n) + 0.22 \cdot MK(n) + 0.20 \cdot PZ(n) + 0.17 \cdot OV(n))$$

Al fine di definire l'indice di probabilità di isterilimento della sorgente (DHI) è necessario tenere in considerazione gli altri quattro fattori già introdotti in precedenza: la distanza dal tunnel (DT), l'intersezione con faglie maggiori (IF), il tipo di sorgente (ST) e l'effetto topografico (ET). Questi fattori chiave, detti fattori chiave, prendono in considerazione tutte quelle condizioni al contorno che possono essere determinanti nella valutazione della probabilità di inaridimento di una sorgente; a prescindere dal contesto idrogeologico medio del massiccio alla quota della galleria (valutato tramite l'indice PI).

A differenza delle precedenti variabili considerate, i fattori chiave non presentano interazioni tra loro, sono variabili indipendenti. Per questo motivo non sono stati inclusi nella matrice del PI. La definizione di questi fattori è riportata nella Tabella 26. Come si vede questi fattori hanno una variabilità compresa tra 1 e 2, essendo 1 il caso di influenza minima a o nulla e 2 quello di influenza massima.

L'indice di probabilità di isterilimento (DHI) espresso in percentuale è il prodotto del potenziale di drenaggio (PI) per i fattori chiave, normalizzato rispetto al suo valore massimo:

$$DHI = \frac{PI \cdot IF \cdot ST \cdot DT \cdot ET \cdot 100}{DHI_{max}}$$

Classe	DHIndex	Probabilità di occorrenza
1	$0 < DHI \leq 0,16$	trascurabile
2	$0,16 < DHI \leq 0,24$	bassa
3	$DHI > 0,24$	elevata

Tab. Probabilità deupaperamento sorgenti

Classe	Priorità	Azione
1	nessuna	Nessuna azione richiesta
2	elevata	Progettazione delle misure di mitigazione
3	assoluta	Progettazione e realizzazione delle misure di mitigazione prima dell'inizio degli scavi

Tab. azioni previste per la mitigazione del rischio di deupaperamento sorgenti

### IMS Method

Il metodo IMS (McFeat-Smith et al. 1998) è un approccio empirico basato su casi selezionati principalmente in rocce metamorfiche, intrusive ed effusive. La metodologia contempla previsioni dell'afflusso d'acqua al tunnel in base a una serie di fattori locali, tra cui le condizioni del suolo, che dovrebbero essere valutate utilizzando il sistema di classificazione IMS (McFeat-Smith et al. 1985), la profondità del tunnel e la distanza del tunnel da potenziali fonti sotterranee / idriche.

Vengono proposti i pronostici dell'influsso afflusso ( $I_i$ ) e dell'afflusso finale ( $F_i$ ):

$$I_i = S_f \cdot H_f \cdot d_f \cdot IF$$

$$F_i = (S_f \cdot H_f \cdot d_f)^2 \cdot IF$$

dove, IF è il tasso di afflusso in diverse condizioni geologiche in l / min / m.

Il sistema di classificazione dell'IMS (McFeat-Smith e altri, 1985) si basa su una semplice relazione tra grado di resistenza agli agenti atmosferici (basato su BS5930: 1999) della massa rocciosa e indice di frattura (ovvero spaziatura delle articolazioni della roccia). Anzitutto il metodo prevede una classificazione dello stato della roccia (figura 1):

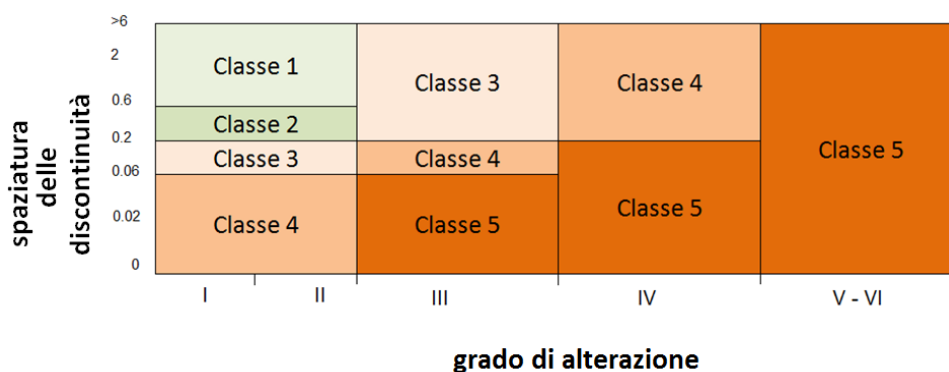


figura 1 – classificazione IMS (modificata da Kong 2011)

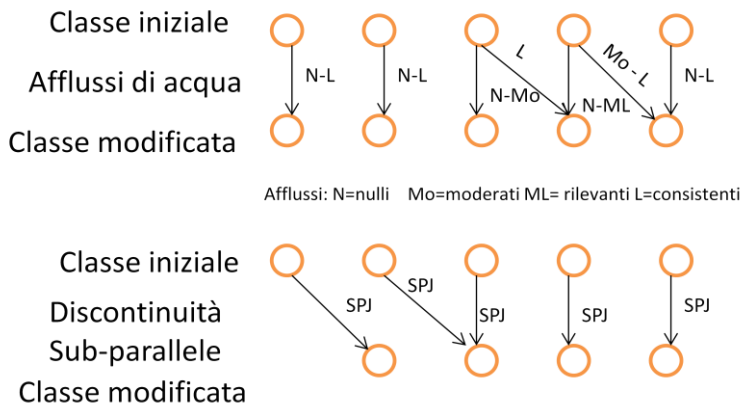
a. La velocità di ingresso dell'acqua è definita come:

Nessuna (N,  $< 0,1 \text{ l / min / m}$ );

Moderata (Mo,  $0,1 < \text{tasso di flusso} < 2 \text{ l / min / m}$ );

Maggiore (Mi;  $2 < \text{tasso di flusso} < 4 \text{ l / min / m}$ );

e grande (L,  $> 4 \text{ l / min / m}$ ).



b. Fattore di dimensione della fonte d'acqua (Sf).

Questo parametro descrive la natura della potenziale fonte di acque sotterranee ed è riassunto nella seguente Tabella (da McFeat- Smith, 1985):

	Mare	Valli principali/ serbatoio	fiumi	ruscello	cresta
Valore Sf	1	0.85 – 0.7	0.5	0.3	0.1

c. Profondità rispetto al livello piezometrico (Hf).

Viene attribuito un peso alla differenza di quota fra livello piezometrico e galleria, come riassunto nella seguente tabella (da McFeat- Smith, 1985) :

livello piezometrico	>100	100	80	50	20
Valore Hf	1	1	0.8	0.5	0.2

d. fattore di separazione orizzontale (If).

Il fattore di separazione orizzontale (come riassunto nella Tabella 3) è una misura della distanza del piano tra il tunnel e la fonte d'acqua, anche " df " può essere espresso come  $[1 - H (s / 400)]$ :

Una volta determinata la classe rock IMS, è possibile calcolare il valore IF. Ad esempio, il flusso potenziale della Classe 5, che è costituita da terreni poco permeabili, è inferiore rispetto a quello delle Classi 3 e 4.

I valori IF per le classi rock IMS (l / min m) sono riassunti nella Tabella seguente (da McFeat- Smith, 1985).

Classe IMS		1	2	3	4	5
Valori IF	Alto	0.6	1.4	12.2	37	3.8
	Medio	0.45	1.05	6.55	24	3.1
	basso	0.3	0.7	0.9	11	2.4

## 2. MODELLI MATEMATICI

Oltre alle tecniche parametriche, la letteratura geologica fornisce numerosi esempi di previsioni formulate con calcoli per gallerie con strutture geologiche differenti e site a diverse profondità. Nei casi, fortunatamente non rari, nei quali risultano disponibili molti dati sui parametri idrogeologici dell'acquifero, risulta evidente che la modellazione matematica rende possibile una previsione ragionevolmente approssimata delle venute d'acqua in galleria e delle conseguenze ambientali dello scavo.

Queste tecniche sono percorribili purchè il numero di dati geologici, idrogeologici, idrogeochimici e geomorfologici sia adeguato e idoneo a tener conto della complessità delle strutture nelle quali l'opera deve essere realizzata. Spesso gli studi su modello vengono impiegati non per la previsione, ma per la gestione degli effetti che sulle sorgenti hanno avuto cavi già compiuti.

Si possono citare come esempio gli studi di Gargini e al. Sull'Appennino Settentrionale e quelli di Tallini e al. sul Gran Sasso., ai quali hanno fatto seguito con una soluzione basata su rilievi geologici e modellazione matematica Gattinoni e al. (2008). Nella zona alpina sono diversi gli esempi di interessanti analisi basate su rilievi geologici, ricostruzione del modello concettuale e simulazione matematica del flusso idrico sotterraneo affluente alla galleria, e si può citare fra questi lo studio di Gattinoni e al. (2019) su una galleria valtellinese.

## 3. METODI DI CALCOLO BASATI SU RELAZIONI SPERIMENTALI

Quando mancano le condizioni per la redazione di un soddisfacente modello matematico, gli Autori (es. Goodman, 1965 ; el Tani ,2003) hanno fatto ricorso a note soluzioni basate su dati sperimentali, proponendo relazioni che tengono conto della piezometria e della permeabilità . Più recentemente si è osservato che l'importanza dell'interconnessione fra le discontinuità è di particolare interesse, e si è reso necessario evidenziarne l'incidenza. Si cita a tale proposito lo studio di Scesi e Gattinoni (2007), nel quale si propongono relazioni che permettono il calcolo della

portata affluente in galleria nel caso di ammasso roccioso percorso da discontinuità completamente e parzialmente connesse.

### Caso di discontinuità completamente connesse

Il flusso d'acqua in galleria in condizioni di completa saturazione può essere calcolato utilizzando diverse formule analitiche:

$$Q = 2\pi KL \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1} \cdot \frac{(H - h)}{\ln \lambda} \quad (\text{El Tani 2003})$$

$Q(t) = \frac{4\pi kL(h_e - h_i)}{\ln(2,25kLt / Sr^2)}$	Jacob & Lohman (1952)
$Q = \frac{2\pi kL(H - h_i)}{\ln\left(\frac{2H - 2h_i}{r}\right)}$	Goodman <i>et al.</i> (1965)
$Q = \frac{2\pi kL(H - h_i)}{\ln\left(\frac{H - h_i}{r} + \sqrt{\left(\frac{H - h_i}{r}\right)^2 - 1}\right)}$	Lei (1999)
$Q = \frac{2\pi kL(H - h_i)}{\ln\left(2\frac{H - h_i}{r} - 1\right)}$	Karlsruud (2001)
$Q_{riv} = \frac{2\pi kL(H - h_i)}{\ln(R / r_e)} \left(1 + \frac{\ln(r_e / r_i) \cdot k}{\ln(R / r_e) \cdot k_{riv}}\right)^{-1} = \alpha_{riv} Q$	Ribacchi <i>et al.</i> (2002)

Dove

H = carico piezometrico iniziale, in corrispondenza dell'asse della galleria ( m)

ht = quota della galleria (m)

r= raggio della galleria (m)

L= lunghezza del tratto considerato (m)

S e k = coefficiente di immagazzinamento e permeabilità media (m/s)

Kriv= permeabilità dell'eventuale rivestimento (m/s)

R= raggio di influenza (m)

r = raggio del tunnel (m).

$$\lambda = \frac{(H - h)}{r} - \sqrt{\frac{(H - h)^2}{r^2} - 1}$$

Le condizioni applicabili di queste equazioni, simili a quelle imposte nel modello numerico, vengono quindi confrontate con i risultati ottenuti dalla modellazione parametrica. Per applicare queste equazioni, è stata considerata la conduttività idraulica equivalente della massa rocciosa alla profondità del tunnel - calcolata con l'Eq.  $K_{eq} = (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^{1/3}$ .

Dove  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  sono le componenti del tensore.

Per valutare il rischio idrogeologico, cioè in quale misura lo scavo di una galleria costituisce un pericolo per l'acquifero e le sorgenti, occorre calcolare la probabilità che l'acqua drenata dalla galleria non superino determinati valori. Quindi è necessario ricostruire:

- distribuzione di probabilità della permeabilità
- probabilità degli abbassamenti nel tempo, impostando una *performance function*.

La *performance function* assume la seguente espressione:

$$\frac{\Delta V_s}{\Delta t} = i - q_{s-p}$$

$$\frac{\Delta V_p}{\Delta t} = q_m - q_v - q_{gall} + q_{s-p}$$

Dove

- $V_s$  e  $V_p$  sono il volume di acqua dell'acquifero superficiale e del profondo.
- $i$  è il tasso di infiltrazione
- $q_m$  e  $q_v$  sono la portata nella falda profonda nella sezione di monte e di valle del volume di controllo
- $q_{s-p}$  portata scambiata dai due acquiferi
- $q_{gall}$  è la portata affluente alla galleria

Per il calcolo della probabilità dell'acqua drenata dalla galleria è necessario considerare due fattori:

1. punto di vista ambientale
2. punto di vista dell'opera

1. da un punto di vista ambientale occorre valutare un valore di abbassamento accettabile  $h$ , in modo di definire successivamente il rischio in funzione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e climatiche nell'area in esame.

L'analisi della distribuzione di probabilità dell'abbassamento risulta:

$$R_{abb} = p[\Delta h = g(x_1, x_2, \dots, x_n) < \Delta h_{lim}]$$



2. Da un punto di vista dell'opera ( rischio venute d'acqua in galleria) occorre valutare la distribuzione di probabilità ottenuta per la portata affluente in galleria :

$$R_{H_2O} = p[Q(t) \geq Q_{lim}]$$

### **INTEGRAZIONE DEI METODI DI PREVISIONE**

Dall' analisi compiuta emerge che , pur con sensibili differenze nel peso che viene conferito ai diversi elementi sui quali si fondano i giudizi, il modello concettuale che accomuna queste tecniche consiste nella costruzione di un modello concettuale della circolazione idrica sotterranea e nella parametrizzazione dei diversi settori che contraddistinguono la struttura geologica individuata.

Si nota in particolare che viene sempre attribuito un peso rilevante alla coltre superficiale di roccia più o meno alterata, nella quale avviene l'infiltrazione e lo scorrimento delle acque meteoriche. In quasi tutti gli esempi esaminati appare evidenziata la cura nello stabilire apporti e deflussi di queste acque con sorgenti e torrenti anche attraverso tecniche idrochimiche e isotopiche, in modo da definire la loro vulnerabilità allo scavo della galleria.

Una notevole importanza riveste in queste metodologie il settore di passaggio delle acque in profondità, e di conseguenza ognuna di esse svolge un'accurata definizione dei parametri che descrivono le caratteristiche delle vie attraverso le quali avviene la percolazione e tempi di percorrenza fino alla galleria in progetto.

Si osserva a tale proposito che un aggiornamento delle metodologie esposte porterebbe sicuramente un beneficio nel rendere più realistiche le previsioni.

Limitandoci al caso del metodo IMS per fare un esempio, è evidente che il parametro Sf risulta poco rappresentativo della quantità di acqua che si infila dalla superficie, elemento che dipende in gran parte dalla permeabilità dei terreni .

Così avviene per il parametro classe IMS, che risulta di valutazione difficile soprattutto nel caso di gallerie molto profonde.

Questa correzione può essere eseguita ricorrendo ad una integrazione degli fattori disponibili abitualmente dalle indagini di campo, quali il rilevamento geologico di superficie integrato da quello geofisico.

Si ritiene che la correzione di Sf si possa eseguire quando la porzione di roccia superficiale alterata e detensionata si estende in modo continuo con spessori medi superiori ai 4-5 m sulla maggior parte del bacino idrogeologico sotteso dalla galleria in progetto. In questo caso la superficie filtrante reale è una percentuale del valore di Sf . E' quindi possibile correggere Sf con il suo prodotto per questo valore percentuale.

E' ragionevole pensare che l'utilizzo della geofisica a riflessione consenta di ottenere valori sullo stato fisico della roccia a livello della galleria più soddisfacenti, sia pure con dettaglio ridotto per le

grandi profondità, di quanto non sia possibile ricavare dalla previsione della qualità della roccia eseguita con rilievo di superficie. Si possono quindi introdurre per la valutazione di IF, invece dei valori delle classi di roccia stimate in base alla qualità ipotizzata dai dati di superficie, quelli fondate sulle velocità sismiche a livello della galleria. Ad esempio il limite fra la classe 1 e 2 si può collocare intorno a valori di  $V_p$  prossimi a 1200 m/s, e quello fra 4 e 5 vicino ai 3000 m/s.

Risulta quindi possibile aggiornare i metodi esposti impiegando gli strumenti che geologia e geofisica pongono oggi a disposizione.

## **CONCLUSIONI**

I metodi esposti si adattano bene a numerose circostanze, ed appaiono quindi completi e perfettamente idonei a fornire informazioni ed elementi di giudizio utili anche nella fase preliminare della progettazione. Sono quindi indispensabili nella fase di impostazione del progetto, e hanno essenzialmente lo scopo di focalizzare l'attenzione dei progettisti sull'ordine di grandezza delle portate affluenti alla galleria e sui corpi idrici che ne possono essere privati. Nella fase di approfondimento successiva, quando si dispone della possibilità di compiere prospezioni sul terreno, è possibile acquisire gli elementi che, sulla base delle considerazioni e delle indicazioni derivanti dall'applicazione delle metodologie esposte, consolidino le previsioni da essere fornite con elementi probanti e permettano l'effettuazione di una progettazione definitiva delle opere di consolidamento, drenaggio, modifica del tracciato. L'analisi dell'efficacia dei controlli e delle verifiche di campo sulla correttezza delle previsioni compiute con i metodi elencati, rappresenta quindi un interessante campo di ricerca di sensibile importanza per il miglioramento dell'efficacia delle indagini progettuali.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Biava F., Consonni M., Francani V., Gattinoni P. Scesi L. (2014). Delineation of Protection Zones for the Main Discharge Area of the Gran Sasso Aquifer (Central Italy) through an Integrated Geomorphological and Chronological Approach. *Journal of Water Resource and Protection*. 06. 1816-1832. 10.4236/jwarp.2014.619161.
- Colombani N., Gargini A., Mastrocicco M., Salemi M. (2002) - Groundwater flow modeling of a tunnel-drained fractured aquifer: validation through creek base-flow continuous monitoring. Conference: XXXII IAH & VI ALHSUD CONGRESS, Acts Mar de la Plata, Volume: Groundwater and human development
- Dematteis A., Kalamaras G., Eusebio A. (2001) - A system approach for evaluating springs drawdown due to tunneling - AITES-ITA 2001 World Tunnel Congress: Progress in tunnelling after 2000 – p. 257-264. Milano, 10-13 June 2001

- Lunardi G. Cassani G. e al. (2016)- Studi idrogeologici per la progettazione delle gallerie ac/av Milano-Genova. verifica e mitigazione degli impatti dello scavo sugli acquiferi esistenti. SIG - Società Italiana Gallerie
- Gattinoni, P.; Consonni, M.; Francani, V.; Leonelli, G.; Lorenzo, C. (2019) -Tunnelling in landslide areas connected to deep seated gravitational deformations: An example in Central Alps (Northern Italy). Tunnelling and Underground Space Technology. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103100>.
- Gisotti G, Pazzagli G., 2002. L'interazione tra opere in sotterraneo e falde idriche. Un recente caso di studio. World Tunnel Congress AITES-ITA 2001 1, 327-334.
- Guerricchio A., Cotecchia V., Fidelibus D, Tulipano L. (1996) - valutazione del rischio di venute d'acqua nella nuova galleria ferroviaria attraversante la masse argillose di Miglionico (linea F.S. Ferrandina-Matera). "Geologia Applicata e Idrogeologia", XXIX, 241-269, Bari.
- Marchionatti F (2014) - L'interazione dei grandi scavi in sotterraneo con gli acquiferi .
- McFeat-Smith I., Turner V. D. et al. (1985)- Tunnelling Conditions in Hong Kong. Hong Kong Engineer 13, 6.13–25 .
- Petitta M.& Tallini M.(2002)\_- Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso(Abruzzo):nuove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche - Bollettino della Società Geologica Italiana, 121(3), pp. 343-363-
- Scesi L.& Gattinoni P. (2007) La circolazione idrica negli ammassi rocciosi. EAN: 9788808181886 ISBN: 880818188X CEA, 2007 - Technology & Engineering - 160 pages
- Scesi L.& Gattinoni P. (2010) An empirical equation for tunnel inflow assessment: Application to sedimentary rock masses. Hydrogeology Journal
- Vincenzi V., L Piccinini, Gargini A., Sapigni M. (2010).Parametric and numerical modelling tools to forecast hydrogeological impacts of a tunnel