

# Alcune considerazioni sull'uso dei sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi

Claudio Cherubini

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. Politecnico di Bari. Via Orabona 4 - 70125 Bari Fax 080-5963675 c.cherubini@poliba.it

## *Some considerations on the use of rock mass classification systems*

**ABSTRACT:** Rock mass classification systems are numerous and generally used to solve tunnel design and construction problems. Recently are also used to evaluate rock slope stability and also for settlement and bearing capacity design for shallow foundations. For a correct application of these classification systems to shallow foundation design it is necessary to develop some specific considerations. This is particularly necessary in presence of carbonatic rocks in which karstic phenomena are frequent. In those cases the presence of voids of significant dimensions affects very strongly the rock mass behaviour. In the paper some critical points of Bieniawski's approach are highlighted respect to shallow foundation design on carbonatic rock masses. Some specific attentions and modifications to the classical approach are proposed.

*Key terms:* RQD, RMR, GSI, Point Load

*Termini chiave:* RQD, RMR, GSI, Point Load

## **Riassunto**

I sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi sono molteplici e sono in genere noti per la possibilità che forniscono di gestire al meglio delle conoscenze le problematiche di scavo e di sostegno in galleria.

Da tempo vengono però sempre più utilizzati sia per la valutazione della stabilità di pendii in roccia, sia per la valutazione dei parametri di deformabilità e di resistenza. Di conseguenza il loro uso per la valutazione della capacità portante di fondazioni superficiali e dei relativi cedimenti si sta sempre più diffondendo.

Sia a livello generale sia nel caso di applicazione di tali metodi alle fondazioni superficiali è necessario svolgere alcune considerazioni atte a rendere tali metodi più oggettivi e adatti all'uso. Ciò è tanto più vero quando si ha a che fare con ammassi carbonatici nei quali la presenza di fenomeni carsici è un dato del tutto peculiare che, comportando spesso la presenza di vuoti significativi, va preso nella giusta considerazione.

Nel lavoro vengono evidenziati i punti ritenuti critici dell'approccio alla Bieniawski, proponendo alcuni accorgimenti e modifiche atte sia a rendere più flessibile la metodologia, sia a prendere in considerazione in maniera specifica gli ammassi calcarei, sia infine per adattare tale classifica allo studio delle fondazioni

## **Introduzione**

I sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi svolgono un ruolo molto importante anche e specialmente quando risulta necessario dare un significato numerico a tutti quei

fattori che contribuiscono a determinarne i caratteri tenso-deformazionali e di resistenza. Fra di essi l'approccio di Bieniawski, più volte dallo stesso Autore modificato (Bieniawski 1973, 1976, 1984, 1989) che determina il valore di RMR (Rock Mass Rating) sulla base di 5 (+1) parametri dell'ammasso è fra i più usati.

Come tutti i sistemi di classificazione quello di Bieniawski è nato per risolvere problematiche legate alle gallerie, ma in seguito è stato esteso da Romana (1995) a valutazioni di stabilità dei pendii.

In seguito il valore di RMR è stato utilizzato non solo per proporre le metodologie d'intervento per rendere stabili gli scavi in galleria, ma anche per valutare il modulo di deformabilità e gli sviluppi di resistenza degli ammassi stessi. Conseguentemente si è sviluppata la possibilità di valutare i cedimenti e/o la capacità portante di fondazioni superficiali secondo approcci simili a quelli che si utilizzano per i terreni. L'estensione però tout-court dei risultati della metodica dalle gallerie alle fondazioni non appare di per sé corretta. E' necessario condurre alcune riflessioni in merito, al fine di proporre alcuni opportuni adattamenti. A tal proposito nella presente nota si intendono perseguire diverse finalità:

Anzitutto quella di riguardare criticamente l'approccio di Bieniawski al fine di tentare di smorzare gli aspetti soggettivi, tenendo conto anche di alcune proposte e/o osservazioni in merito già svolte da altri autori.

In secondo luogo quella di adattarlo per la progettazione delle fondazioni.

In terzo luogo quella di tener conto delle problematiche che scaturiscono dall'operare in ammassi carsificati

Un discorso a parte meriterebbe un confronto critico di RMR con GSI che, inizialmente è stato proposto da Hoek e Brown (1997) come relazionato ad RMR secondo le seguenti leggi:

$$\begin{aligned} \text{GSI} &= \text{RMR} - 5 && \text{per } \text{GSI} \geq 18 \text{ o } \text{RMR} \geq 23 \\ &= 9 \ln Q' + 44 && \text{per } \text{GSI} < 18 \end{aligned}$$

dove  $Q'$  è l'indice di Barton modificato

In seguito, tale metodo ha trovato un suo autonomo sviluppo nel tempo, giungendo fino ad una analisi critica di Marinou et al (2005) nella quale vengono ampiamente specificate le peculiarità del metodo specie per quanto riguarda gli ammassi caratterizzati da numerose discontinuità tali da dar luogo ad una sorta di comportamento isotropo.

Indubbiamente, al di là delle possibili differenze nei campi di applicabilità, il metodo GSI, a fronte di una ingannevole semplicità, richiede notevole sensibilità ed esperienza nella sua applicazione.

La valutazione di RMR secondo Bieniawski, invece, può ritenersi relativamente più facilmente utilizzabile anche da meno esperti a patto, però, di una opportuna attenzione nella valutazione dei singoli parametri considerati.

### Considerazioni e proposte di modifica

Per quanto riguarda una revisione critica, pur non esaustiva, del metodo si osserva quanto segue:

La resistenza a compressione semplice  $\sigma_c$  può essere valutata sia con la prova classica su provini cilindrici, sia tramite il Point Load Test per ottenere l'indice  $I_s$ , dal quale è possibile ricavare indirettamente  $\sigma_c$ . L'affidabilità delle due prove è evidentemente diversa, ma è la conversione fra i due tipi di prova che andrebbe meglio codificata.

Kahraman et al (2005) evidenziano come le relazioni proposte fra  $\sigma_c$  ed  $I_s$  siano molto numerose assumendo anche forme non lineari. Gli stessi Autori hanno proposto relazioni differenziate a seconda che la roccia abbia porosità maggiore o minore dell'1%. Tale proposta è però basata su un numero di dati (38), che pur abbastanza numeroso, non copre certamente in maniera significativa la grande varietà di litologie con cui è possibile avere a che fare.

Tab. 1 Valori di K da assumere in funzione di  $I_s$   
*Values of K in function of  $I_s$*

$I_s$ (Mpa)	K
1.8 - 3.5	14
3.5 - 6.0	16
6.0 - 10	20
> 10	25

Nel metodo di Bieniawski si riscontra una relazione fissa fra  $\sigma_c$  e  $I_s$  che prevede un fattore moltiplicativo pari a 31 per rocce estremamente resistenti ed a 25 per le altre, in un certo accordo col valore generalmente accettato, pari a 24. Sarebbe più opportuno utilizzare la Tabella 1 proposta da

Palmstrom (1982) come riportato da Bruschi (2004) che propone coefficienti moltiplicativi diversi in funzione del valore di  $I_s$  oppure la Tabella II, ove K è funzione del tipo di roccia.

Tornando al lavoro di Kahraman et al (2005) appare interessante, nel considerare i soli dati delle rocce carbonatiche, come il coefficiente K tenda a risultare più elevato all'aumentare della resistenza a compressione della roccia (Fig 1).

Ciò non fa altro che confermare le indicazioni contenute nella Tab. 1

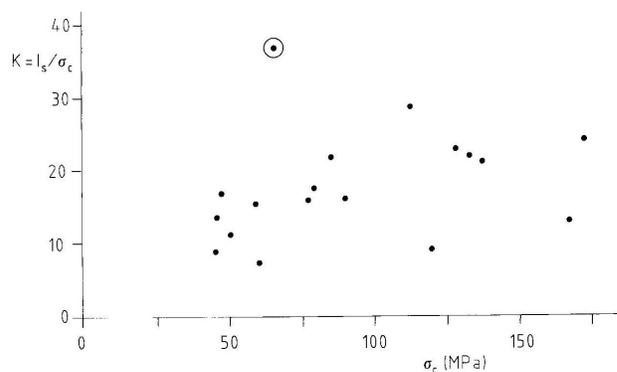


Fig 1. Variazione del coefficiente K all'aumentare della resistenza a compressione semplice di rocce carbonatiche. Il punto cerchiato rappresenta un valore definibile come "anomalo".

*Variation of coefficient K increasing simple compression strength for carbonatic rocks. The circled point can be considered as "outlier".*

Tab 2 Valori di K da assumere in funzione della litologia  
*Values of K to be assumed in function of lithology*

Rocce effusive	K = 22
Rocce intrusive	18
Rocce sedimentarie a grana grossa	18
a grana fina	8
Rocce metamorfiche (basso metamorfismo)	18 - 24
medio	16 - 19
alto	14

Inoltre vanno riprese opportunamente alcune osservazioni svolte da Clerici et al (1986) che evidenziavano come il numero di tests necessari per un uso affidabile del Point load fosse troppo basso nel caso di provini informi. A tal proposito si ricorda che l'ISRM (1972) parla di un numero minimo di 20 prove per campioni di forma irregolare senza ulteriori specificazioni mentre per

gli Autori citati non si dovrebbe andare sotto le 35-40 prove per ottenere un risultato affidabile in rocce anisotrope.

La valutazione della spaziatura dei giunti e dell' RQD rappresentano due modalità diverse per determinare caratteristiche dell'ammasso che appaiono simili, se non proprio coincidenti.

In tale ottica va innanzitutto ricordato che, secondo l'originaria proposta di Deere (1983), l'RQD deve essere determinato su carote di 54,7 mm di diametro (NX ASTM). Tale particolare però non sempre è preso nella dovuta considerazione

Valori di diametro di carotaggio maggiori, come si usano in genere in Italia, comportano probabilmente sovrastime di RQD.

In secondo luogo, e ciò accade in particolare per le problematiche relative alle fondazioni, si hanno in genere a disposizione solo dati di RQD da sondaggi, risultando difficile svolgere delle valutazioni di spaziatura dei giunti, non avendo fronti di roccia a disposizione nei pressi dell'opera. L'RQD, inoltre, può anche essere determinato dal seguente rapporto, denominato Velocity (Singh e Goel 1999)

$$RQD (\%) = \left( \frac{V_f}{V_l} \right)^2 \times 100$$

Dove  $V_f$  rappresenta la velocità delle onde longitudinali nel sito, e quindi influenzata dalle discontinuità, dai vuoti etc, mentre  $V_l$  rappresenta la velocità delle onde longitudinali di un campione di roccia intatta, valore che può in prima istanza anche essere dedotto da tabelle opportune in funzione della litologia.

Sen e Sadagah (2003) hanno proposto fra l'altro una unificazione fra il valore di RQD e della spaziatura dei giunti, ricorrendo alla classica relazione di Priest e Hudson (1976)

Già Bieniawski nel 1989 propose degli abachi per poter valutare i primi quattro contributi all'RMR in maniera continua e non per campi.

Anche Sen e Sadagah hanno proposto di superare la suddivisione in campi per assegnare i punteggi delle singole categorie, fornendo espressioni analitiche capaci di fornire una variazione continua del punteggio. I vantaggi di tale approccio sono intanto di poter svolgere delle valutazioni di RMR più accurate ed inoltre di poter svolgere delle elaborazioni anche in campo probabilistico.

Le relazioni proposte da Sen e Sadagah sono le seguenti:

$$c = 3.625 RMR \quad (\text{kPa})$$

$$\phi^\circ = 25[1+0.01RMR] \quad \text{per } RMR > 20$$

$$1.5 RMR \quad \text{per } RMR < 20$$

Mentre quelle in genere utilizzate sono:

$$c = RMR * 0.005 \quad (\text{MPa})$$

$$\phi^\circ = 5 + 0.5 RMR$$

Le condizioni delle discontinuità vengono trattate in maniera per così dire "globale" quando è noto come esse siano dipendenti da 5 parametri elementari che le descrivono e cioè:

Rugosità, apertura, alterazione, riempimento e persistenza.

Clerici et al (1986) hanno svolto una dettagliata analisi su tali aspetti che, però, non è stata di fatto sviluppata, accettata o criticata nel seguito.

Le prime danno luogo a valori di coesione minori e ad angoli d'attrito maggiori.

Per quanto riguarda invece le problematiche specifiche fondazionali ed in particolare per le fondazioni in ammassi calcarei che possono essere interessati dalla presenza di cavità carsiche, si osserva quanto segue:

E' necessario definire una profondità dell'ammasso roccioso all'interno della quale valutare i 5 parametri (più eventualmente il parametro legato all'assetto stratigrafico, opportunamente modificato).

Tale profondità potrebbe essere pari a 2-3 B per fondazioni quadrate o rettangolari con B dimensione minore in pianta e con la dimensione maggiore al massimo pari a 2B mentre per fondazioni nastriformi con  $L > B$  la stessa può essere assunta uguale a  $\sqrt{BL}$ .

Sempre nel caso di fondazioni superficiali la valutazione di RQD diviene fondamentale.

Nel caso di valutazione indiretta di RQD dai risultati di prove geofisiche, la presenza di vuoti è automaticamente presa in considerazione, anche se in maniera mediata, dal valore  $V_f$ .

Nel caso invece di valutazione di RQD da sondaggi, la presenza di vuoti non è evidenziabile dal solo valore numerico di RQD; lo stesso valore di RQD può quindi rappresentare sia un ammasso con molte discontinuità sia un ammasso con meno discontinuità e alcuni vuoti, o addirittura con un solo vuoto di maggiori dimensioni.

Questo aspetto va opportunamente considerato perché il comportamento meccanico dell'ammasso nei due casi è evidentemente diverso.

Si propone qui di annotare il valore del recupero totale di un campionamento espresso come numero decimale (Total Sampling Recovery = TSR) penalizzando ad esempio RQD secondo la seguente espressione

$$RQD_m = RQD * TSR$$

Tale modifica dovrebbe valere a partire da  $TSR < 0,90$  mentre per  $TSR < 0,50$  dovrebbe essere attribuito a RQD il punteggio minimo previsto in tabella.

Nel caso di utilizzo nel metodo di Bieniawski per le fondazioni risulta difficile poter rilevare le discontinuità attraverso mezzi diversi dei sondaggi per cui dovrebbe essere dedotto dalla già citata relazione di Priest e Hudson o da quella di Palmstrom.

Analogamente va trovato un criterio opportuno per la presenza di acqua. Nel caso di ammassi carbonatici la falda

(come accade in Puglia) è presente e circola nelle discontinuità e nelle cavità anche con bassi gradienti. In tali casi si potrebbe lasciare in vigore la tabella originaria di Bieniawski considerando gli afflussi che avvengono entro la profondità considerata dal piano di posa delle fondazioni per la valutazione delle altre grandezze in gioco.

## Conclusioni

Le presenti considerazioni e proposte non hanno la pretesa di essere esaustive bensì di stimolare la discussione su un

sistema di classificazione, quello di Bieniawski, che ha dato ottima prova nelle problematiche legate alla costruzione di gallerie. Tale sistema tende ad essere sempre più utilizzato per le problematiche di stabilità dei pendii e fondazionali

In particolare per le fondazioni appare necessario che, affinché tale sistema di classificazione possa risultare affidabile, debba essere adattato al problema in esame utilizzando anche le più diverse esperienze maturate in ambienti geologici particolari come quelli degli ammassi carbonatici soggetti a carsismo.

## Bibliografia

- Bieniawski Z.T (1973) Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *Trans. S. Afr. Inst Civ. Eng.* 15 pp.335-344
- Bieniawski Z.T (1976) Rock Mass Classification in Rock Engineering. *Proc. Symp. Expl. Rock Eng. Johannesburg. Balkema Vol 1* pp.97-106
- Bieniawski Z.T. (1984) *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling* A.A. Balkema Rotterdam pp.97-133
- Bieniawski Z.T. (1989) *Engineering Rock Mass Classification*. J.Wiley and Sons . N.Y
- Bruschi A. (2004) *Meccanica delle Rocce – Flaccovio Editore*.
- Clerici A., Griffini L., Pozzi R. (1986) Note sull'impiego della Geomechanics Classification di Z.T. Bieniawski. *Congresso Internazionale su Grandi Opere Sotterranee. Firenze Vol II* pp.530-537
- Deere D.U. (1963) *Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes*. *Rock Mech. And Eng. Geology.* 1 1822
- Hoek E., Brown E.T. (1997) *Practical Estimates of Rock Mass Strength*. *Int. Jr. Rock Mech. And Min. Sci. . Pergamon Press Vol. 34 N° 8* pp.1165-1186
- Kahrman S., Gunaydin O., Fener M. ( 2005) The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 42 pp.584-589
- ISRM (1972) *Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength of rock materials and the point-load strength index. Committee on laboratory tests. Doc. N° 1*
- Marinos V., Marinos P., Hoek E. (2005) *The Geological Strength Index: applications and limitations* .*Bulletin of Engineering Geology and the Environment Vol.64 N°1* pp.55-65
- Palmstrom A. (1982) *The Volumetric Joint Count. A Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Mass Jointing*. *Proc. Fourth Cong. Int. Assoc. of Engineering Geology. New Delhi India Vol V Theme 2* pp 221-228
- Priest S.D., Hudson J.A. (1979) *Discontinuity Spacings in Rock*. *Int. Journal of Rock Mech. And Mining Sciences # 13*
- Romana M. (1995) *A Geomechanical Classification for Slopes. Slope Mass Rating*. In: *Comprehensive Rock Engineering*. Hudson J.A. Ed. Pergamon Press.
- Sen Z., Sadagah B.H. (2003) *Modified Rock Mass Classification System by Continuous Rating*. *Engineering Geology* 67 pp.269-280
- Singh B., Goel R.K. (1999) *Rock Mass Classification. A Practical Approach in Civil Engineering* . Elsevier pp 267.