

# L'applicazione dei sistemi di classificazione per la valutazione della capacità portante e dei cedimenti di fondazioni superficiali su rocce calcaree

Claudia Cherubini<sup>1</sup>, Concetta Immacolata Giasi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dottoranda in Ingegneria per la tutela degli ecosistemi -Politecnico di Bari – Via Orabona 4, 70125 Bari, Fax 080-5963675  
claudia.cherubini@poliba.it

<sup>2</sup>Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Politecnico di Bari-Via Orabona 4, 70125, Bari c.giasi@poliba.it (Autore corrispondente)

*The use of classification systems in the evaluation of bearing capacity and settlements of shallow foundations on limestone rock masses*

**ABSTRACT:** The systems of classification of rock mass give, apart from useful qualitative and quantitative indications about the problems connected to the excavation of tunnels and the stability of slopes, also qualitative indications about the strength envelope and about deformability. This note means to dwell upon the evaluation of deformability of rock masses by passing through the relations available in literature and by discussing briefly the fundamental parameters on which these relations are based. From this comes out a variegated framework subjected to significant uncertainties. Nevertheless the utility of those approaches results evident provided that one considers the result obtained as a preliminary evaluation to be subjected to verification with adequate in situ - tests. As comparison an application of some of those relations to the Bari Limestone rock mass has been developed, on the basis of the achievements obtained through the use of the methods of classification of Bieniawski and Barton and by comparing the results obtained with the ones obtained from the in situ tests. Some considerations about solutions to calculate bearing capacity of shallow foundations on rock masses are also developed with special reference to Bari Limestone

*Key terms:* Rock mass, RMR, Deformability, Bearing capacity

*Termini chiave:* Ammassi rocciosi, RMR, Deformabilità, Capacità portante

## Riassunto

I sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi forniscono, oltre a utili indicazioni qualitative e quantitative sulle problematiche connesse agli scavi di gallerie ed alla stabilità dei pendii, anche indicazioni quantitative sugli involucri di resistenza e sulle deformabilità. E' proprio sulla valutazione della deformabilità degli ammassi che questa nota intende principalmente soffermarsi passando in rassegna alcune relazioni disponibili in letteratura e discutendo brevemente i parametri di base su cui tali relazioni si basano. Ne viene fuori un quadro variegato e soggetto a significative incertezze. Purtroppo risulta evidente l'utilità di tali approcci a patto di considerare il risultato ottenuto come un dato di valutazione preliminare da sottoporre a verifica con adeguate prove in situ. A titolo di confronto viene infine sviluppata un'applicazione di alcune di tali relazioni al Calcere di Bari, sulla base dei risultati ottenuti attraverso l'uso dei risultati dei metodi di classificazione di Bieniawski e Barton e confrontando i risultati ottenuti con quelli di prove in situ. Alcune considerazioni riguardo la valutazione della capacità portante di fondazioni superficiali su ammassi rocciosi vengono altresì svolte con particolare attenzione sempre al Calcere di Bari

## Introduzione

La valutazione delle caratteristiche di deformabilità degli ammassi rocciosi risulta generalmente difficile; prove in situ quali prove su piastra, prove di carico radiali in foro e così via possono risolvere il problema solo in parte a causa dei notevoli costi e dei tempi richiesti.

Di conseguenza sono state nel tempo proposte numerose relazioni per prevedere il modulo di deformabilità degli ammassi rocciosi sulla base dei risultati dell'applicazione dei metodi di classificazione e quindi poter valutare i cedimenti delle fondazioni di edifici poggianti su di essi

Per quanto riguarda invece la capacità portante, nel passato si è fatto quasi sempre riferimento a tabelle e/o a relazioni grossolanamente empiriche funzioni della litologia e delle situazioni locali.

Da un po' di tempo, invece, numerose sono le proposte per poter valutare in modo razionale il carico limite di fondazioni superficiali in funzione dei parametri di resistenza ricavati anch'essi in base ai risultati dell'applicazione di metodi di classificazione.

In questa nota si intendono discutere sinteticamente gli approcci più significativi proposti sulle problematiche precedentemente tratteggiate, applicandole al "Calcere di Bari".

## Generalità sui sistemi di classificazione

Tutti i sistemi di classificazione ed in particolare l'RMR di Bieniawski (1989) il Q di Barton et al. (1974) il GSI di Hoek e Brown (1997), l' RMI di Palmstrom (1987) sono stati pensati e sviluppati per tentare di risolvere problematiche legate al progetto ed alla realizzazione di gallerie; successivamente Romana (1995) ha proposto la classificazione SMR per la valutazione della stabilità dei pendii.

Tali metodi tengono conto in varia misura e con differenti pesi dei fattori ritenuti essenziali nel determinare il comportamento meccanico degli ammassi rocciosi differenziandolo da quello della roccia intatta e cioè della presenza, frequenza e natura dei giunti e del loro eventuale riempimento, della resistenza a compressione semplice dei campioni intatti, della presenza di acqua e così via.

Ovviamente, poiché per ogni Autore sono diversi i fattori che, in base alla sua esperienza, sono effettivamente determinanti i risultati ottenibili da ogni sistema di classificazione sono solo relativamente comparabili fra loro.

Inoltre l'applicazione di tali metodi a problematiche diverse da quelle delle gallerie richiede alcuni accorgimenti e correzioni che divengono ancor più importanti quando si ha a che fare con ammassi carsificati.

## Caratteristiche di deformabilità degli ammassi rocciosi

Il comportamento deformativo di un ammasso roccioso può essere valutato mediante l'interpretazione dei risultati di diverse prove in situ (Lama e Vutukuri 1978).

Il modulo di deformabilità ( $E_d$ ) dell'ammasso roccioso viene calcolato in base agli spostamenti totali misurati durante la generica fase di carico effettuata durante la prova, mentre il modulo di Elasticità ( $E_e$ ) viene calcolato in base allo spostamento elastico restituito allo scarico.

Il valore del modulo di elasticità dell'ammasso è ovviamente maggiore di quello di deformabilità ed il rapporto fra i due quantità  $E_e/E_d$  è considerato quale indice caratteristico per l'ammasso (Lama e Vutukuri 1978).

Sulla base dei dati relativi a diverse formazioni rocciose, caratterizzate mediante il valore dell'indice RMR si è visto come tale rapporto tenda a diminuire sensibilmente all'aumentare di RMR nell'intervallo  $35 \leq RMR \leq 90$  mantenendosi ovviamente sempre su valori maggiori dell'unità (Berardi e Bellingeri 1998) secondo la seguente legge

$$E_e/E_d = 4.24 - 0.067 \ln RMR \quad (1)$$

Per quanto riguarda nello specifico il modulo di deformabilità vanno comunque evidenziati alcuni aspetti fondamentali preliminarmente alla discussione delle relazioni empiriche proposte in letteratura.

Sebbene le prove in situ possono rappresentare un mezzo diretto per poter valutare  $E_d$ , i risultati delle stesse sono affetti da incertezze di vario genere, fra cui

importantissima risulta la differenza tra il volume di roccia interessato dalla prova, spesso naturalmente diverso per ogni singola prova, e quello effettivamente interessato dallo studio, non trascurando le problematiche connesse alla effettiva presenza di roccia non alterata al contatto con l'apparecchiatura, all'influenza dell'orientazione dei giunti ed infine ai costi connessi a prove che per essere significative non possono che essere ragionevolmente numerose. Conseguentemente la disponibilità di correlazioni empiriche oltre a rappresentare un valido aiuto nella individuazione di valori preliminari dei moduli di deformabilità, può costituire elemento di "controllo" di prove in situ eseguite spesso in numero insufficiente e con tecniche le più varie.

## Valutazione dei moduli di deformabilità

In base a quanto precedentemente esposto, appare quindi fondamentale la conoscenza delle relazioni che legano il modulo di deformabilità di ammassi rocciosi ai risultati scaturiti sia dall'applicazione di sistemi di classificazione tout court sia anche o esclusivamente dalla considerazione di ulteriori fattori ritenuti rilevanti per la caratterizzazione meccanica dell'ammasso. Nel seguito si riportano le relazioni più conosciute, utilizzando i risultati ottenibili dall'applicazione del metodo di Bieniawski.

Nella fattispecie; la prima relazione è proprio quella di Bieniawski (1970)

$$E_d = 2RMR - 100 \text{ [GPa]} \quad (2)$$

ed è stata elaborata sulla base di 21 casi reali riguardanti il progetto di grandi impianti idroelettrici interessanti diverse formazioni rocciose. Essa è applicabile solo ad ammassi di buona qualità ( $RMR > 50$ ).

La seconda è quella di Stille (1986).

$$E_d = 0.05 RMR \text{ [GPa]} \quad (3)$$

Ed è applicabile solo ad ammassi rocciosi di qualità modesta ( $RMR < 52$ ).

La terza è quella di Serafim e Pereira (1983)

$$E_d = 10^{((RMR-10)/40)} \text{ [GPa]} \quad (4)$$

elaborata sulla base di 36 casi reali dei quali 21 sono quelli già considerati nella già citata relazione di Bieniawski. Tale relazione è applicabile senza particolari limitazioni.

Un'altra relazione è stata proposta da Mehrotra et al. (1991).

$$E_d = 10^{((RMR-30)/50)} \text{ [GPa]} \quad (5)$$

ed è relativa al comportamento deformativo di ammassi rocciosi teneri e chimicamente alterati di alcune regioni dell'Himalaia.

Un'ulteriore relazione è quella proposta da Iasarevic e Kovacevic (1996)

$$E_d = e^{(4.407 + 0.08RMR)} \text{ (MPa)} \quad (6)$$

ottenuta sulla base di dati di formazioni calcaree della Croazia:

Chappel (1984) a sua volta non formula una precisa espressione analitica, ma indica gli intervalli di valori di  $E_d$  (in GPa) in base alla classe derivante dal calcolo di RMR. (vedi Tabella 1).

Tabella 1 Valori del modulo di deformabilità per le diverse classi di qualità dell'ammasso roccioso secondo Chappel.  
*Values of deformability modulus for the different quality classes of rock mass according to Chappel.*

Classi di qualità	Descrizione	Indice RMR	$E_d$ (GPa)
V	Molto scadente	0 – 20	0,05 – 0,5
IV	Scadente	20 – 40	0,5 – 4,0
III	Discreto	40 – 60	4,0 – 5,0
II	Buono	60 – 80	5,0 – 25
I	Molto buono	80 – 100	25- 50

Berardi e Bellingeri (1998) propongono invece la seguente relazione:

$$E_d = a e^{bRMR} \text{ (GPa)} \quad (7)$$

dove  $a = 0,870$   
 $b = 0,0455$

In letteratura sono presenti altresì altre relazioni che utilizzano gli altri sistemi di classificazione, ma non vengono qui riportati per mancanza di spazio

### Valutazioni di capacità portante

Nel caso di ammassi rocciosi di buona o ottima qualità solitamente la capacità portante ammissibile di fondazioni superficiali è talmente elevata che per costruzioni non particolarmente impegnative non costituisce alcun problema

Nel caso di peggiori qualità dell'ammasso la valutazione della capacità portante può risultare necessaria ; la valutazione della stessa è però legata anche alle modalità di rottura che le condizioni dell'ammasso consentono. Non molti sono i lavori che si occupano di tali problematiche. Tra di essi si citano, Peck et al (1974), Cherubini et al (1985), Bowles (1991), Wyllie(1992), El-Naqa (2004) e così via.

Nel Manuale dell'U.S. Army Corps of Engineers.(1994) vengono in particolare schematizzate le diverse possibili modalità di collasso per ammassi interessati da discontinuità di varia natura che ne condizionano fortemente il comportamento.

In questo lavoro, per mancanza di spazio si propone di utilizzare, in prima istanza, due diverse modalità di valutazione di  $\sigma_{amm}$  :

La valutazione in funzione del solo RQD

La valutazione in funzione di GSI, valore che è possibile correlare ad RMR attraverso la nota relazione:

$$GSI = RMR - 5 \text{ per } GSI > 18 \text{ o } RMR > 23 \quad (8)$$

Nel secondo caso la capacità portante di una fondazione

nastriforme può secondo Hoek e Brown(1988) essere stimata secondo l'espressione seguente:

$$\sigma_{ult} = [s^{0.5} + (ms^{0.5} + s)^{0.5}] \sigma_c \quad (9)$$

suggerendo altresì di usare un fattore di sicurezza pari a 5, dove:

$$m = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad (10)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 10}{9}\right) \quad (11)$$

ed  $m_i$  è il valore di  $m$  per roccia intatta, il cui valore può essere ottenuto secondo Hoek e Brown (1988) e  $\sigma_c$  rappresenta la resistenza a compressione dell'ammasso, legata a  $\sigma_3$  secondo l'ulteriore relazione:

$$\sigma_3 = s \cdot 0.5 \sigma_c \quad (12)$$

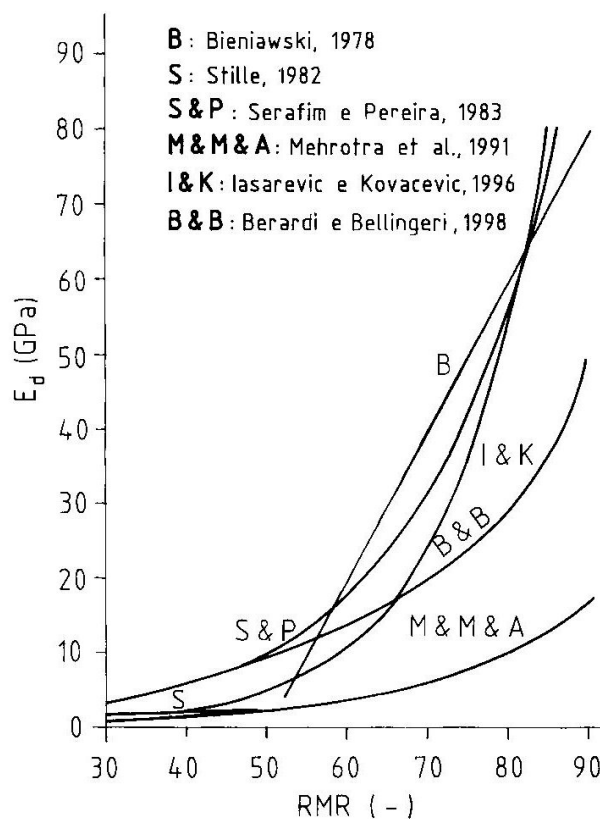


Fig 1 Valutazione di  $E_d$  in funzione di RMR secondo vari Autori.  
*Evaluation of  $E_d$  respect to RMR according to various Authors*

Altre relazioni sono simili alla nota relazione trinomia utilizzata per i terreni sciolti, nella quale i fattori di capacità portante  $N_c$ ,  $N_q$  ed  $N_\gamma$ , hanno espressioni specifiche per gli ammassi rocciosi, ed i parametri di resistenza, alla Mohr-Coulomb, sono ricavabili dai valori di RMR secondo note

espressioni. E' evidente, comunque che le incertezze nell'adattamento di tali relazioni sono notevoli, per cui in questa sede si preferisce non svilupparle ulteriormente, rimandando ai testi specifici (Wyllie 1992, Bowles 1991)

Tab 2 Valori di  $\sigma_{amm}$  in funzione di RQD  
Values of  $\sigma_{amm}$  in function of RQD

RQD	$\sigma_{amm}$ kPa
100%	3000
90%	2000
75%	1000
50%	600
25%	300
0	100

### Applicazioni al Calcare di Bari

La geologia della zona è caratterizzata dall'affioramento di rocce carbonatiche (Cretaceo sup.) a volte con coperture quaternarie di varia origine (Radina, 1959, Grassi 1974, Pieri 1975, Baldassarre et al. 1987).

Le rocce carbonatiche appartengono alla successione di rocce stratificate conosciute come "Calcare di Bari" e sono costituite da calcari micritici, dolomiti grigie, calcari dolomitici grigiastri, calcari organogeni biancastri ed a volte da sequenze calcareo dolomitiche grigio-rossastre (Baldassarre et al. 2004)

La successione ha una potenza di circa 3000 m. ed ha assetto in genere a monoclinale verso SSO, essendo interessata da blande pieghe e faglie di lieve rigetto.

Tale unità è interessata da più famiglie di discontinuità e da vuoti carsici spesso riempiti in toto o in parte da terra rossa ed è sede di una falda di acqua dolce sospesa sull'acqua marina che penetra nelle discontinuità presenti.

I dati fisico-meccanici che di seguito verranno commentati sono stati ricavati dall'esame di numerosi fronti di scavo, quasi sempre realizzati per la costruzione di edifici, e da alcune decine di sondaggi, variamente dislocati sul territorio comunale, da cui sono state estratte le carote da sottoporre ad analisi di laboratorio. Nel seguito vengono altresì commentati i risultati di prove sismiche a rifrazione in termini di velocità delle onde longitudinali.

Ovviamente si è tenuto conto dei risultati di precedenti studi svolti (Baldassarre et al. 2004, Cotecchia 1971)

Il valore del peso specifico si situa nella maggior parte dei casi fra 26 e 27 kN/m<sup>3</sup>

Prove di compressione semplice svolte su campioni di roccia intatta sollecitati in direzione normale e parallela alla stratificazione hanno mostrato valori da 80 a 190 MPa con valori medi superiori a 120 MPa.

L' RQD è anch'esso molto variabile, passando da valori praticamente nulli fino al 70%. Molto raramente si hanno valori superiori all'80%. Mediamente RQD vale il 35%.

Sulla base dei valori di RQD e delle velocità delle onde longitudinali (m/sec) corrispondentemente misurate, è stato possibile valutare l'espressione del rapporto  $I_v$  definito

come il quadrato del rapporto fra la velocità delle onde longitudinali elastiche della roccia in sito e quella della stessa roccia su campioni di laboratorio intatti. Tale legge è così espressa

$$I_v = 0.006 RQD (V_{p_{ammasso}}/V_{p_{campione}})^2 \quad (13)$$

Per quanto riguarda i valori di RMR la media di essi è uguale a 42 definendo cioè l'ammasso come discreto, con variazioni significative che vanno da poco più di 20 a poco meno di 60.

Va comunque puntualizzato che nessuna delle classificazioni citate consente di tener conto in maniera specifica del problema del carsismo. La presenza di veri e propri vuoti nell'ammasso dovuti a fenomeni carsici deve in qualche modo essere tenuta in conto attraverso l'uso di opportuni coefficienti riduttivi. (Cherubini 2006)

Per quanto riguarda il modulo di deformabilità dell'ammasso in sito ( $E_d$ ) ci si riferisce ai risultati riportati da Spilotro (1983) dedotti da prove di carico su piastra di 45 cm che hanno fornito valori massimi  $\cong$  10 MPa e valori più frequenti intorno a 5 MPa. Riguardo invece ai provini sottoposti a prove di compressione semplice in laboratorio i valori del modulo di elasticità sono risultati variabili da 20 a 46 MPa.

Sulla base dei dati precedentemente esposti è stato quindi possibile calcolare il valore del modulo di deformabilità dell'ammasso considerando i valori medi dei parametri d'ingresso in alcune delle relazioni esplicitate nel precedente paragrafo.

Nella fattispecie si hanno i seguenti risultati:

Secondo Serafim e Pereira	$E_d = 6,3$ GPa
Secondo Berardi e Bellingeri	$E_d = 5,9$ GPa
Secondo Jasarevic e Kovacevic	$E_d = 2,4$ GPa
Secondo le tabelle di Chappel	$E_d = 4.0-5.0$ GPa

Altri metodi o forniscono risultati troppo lontani dai valori misurati o, comunque, non sono stati utilizzati per impossibilità di applicarli al caso in esame.

Appare ovvio che le prove in vera scala effettuate possono non essere rappresentative dell'intera gamma di variabilità dell'ammasso calcareo in esame, ma i risultati ottenuti dalle correlazioni ci permettono di osservare che: almeno per i valori medi dei parametri di caratterizzazione considerati i metodi di Serafim e Pereira, di Berardi e Bellingeri e le tabelle di Chappel risultano fornire risultati più vicini ai valori misurati, mentre il metodo di Jasarevic e Kovacevic, seppur basato solo su dati di ammassi calcarei è piuttosto cautelativo.

Per quanto riguarda la valutazione della capacità portante ammissibile, essa risulta pari a circa 500 kPa considerando il valor medio di RQD riscontrato per il Calcare di Bari, mentre l'utilizzo della relazione (9) dà luogo ad un valore dell'ordine di 1 MPa. Va detto che in tale intervallo si ritrovano i valori di capacità portante ammissibile in genere utilizzati sul Calcare di Bari in base all'esperienza ed alla consuetudine.

## Conclusioni

La valutazione dei moduli di deformabilità degli ammassi rocciosi che sono in genere interessati da discontinuità, cavità etc. risulta, utilizzando con le sole prove in situ, spesso problematica e costosa.

Di aiuto sono le numerose relazioni basate su sistemi di classificazione ben noti ed usati.

L'applicazione ad un ammasso reale, del quale si conoscono alcuni di questi parametri e sul quale è stata utilizzata ampiamente la metodologia di Bieniawski ha mostrato, per alcuni metodi, un discreto accordo con i pochi risultati sperimentali disponibili.

In particolare tale accordo è risultato per le relazioni di Serafim e di Pereira, di Berardi e Bellingeri. Il risultato

complessivo è confortante, a patto però di considerare che i risultati che scaturiscono dall'applicazione di tali relazioni empiriche sono comunque affetti da notevoli incertezze e quindi sono utilizzabili comunque con una certa cautela, eventualmente tarandoli con prove in situ opportunamente programmate.

La valutazione della capacità portante rappresenta invece ancora un problema di delicata soluzione, condizionato dalla corretta individuazione dello stato in cui si trova l'ammasso che, ovviamente, ne condiziona fortemente il comportamento e quindi la scelta del modello di calcolo. Di conseguenza allo stato attuale è opportuno utilizzare approcci semplificati, nella piena consapevolezza delle incertezze legate a tali valutazioni e quindi tenendo conto dell'esperienza ed utilizzando la necessaria prudenza.

## Bibliografia

- Abad J., Calenda B., Chacon E., Gutierrez V., Hidalgo E. (1984) Application of Geomechanical Classification to predict the convergence of Coal Mine Galleries and to Design Their Support 5<sup>th</sup> Int. Congress of Rock Mechanics. Melbourne pp 15-19.
- Baldassarre G., Francescangeli R., Radina B. (1990) Consolidamento di alcuni terreni di fondazione della città di Bari. "Continuità", Rassegna tecnica Pugliese 2/3 pp 67-72, Bari
- Barton N. (2002) Some new Q value correlations to assist in characterization and tunnel design. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences N° 38 pp. 185-216.
- Barton N., Lien R., Lunde J. (1974) Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics. Springer Verlag Vol. 6 pp. 189-236.
- Berardi R., Bellingeri P. (1996) Deformabilità degli ammassi rocciosi da approcci empirici e influenza della qualità del materiale roccioso e dello stato di sforzo in situ. Rivista italiana di Geotecnica Anno XXXII N° 1 pp.39-55.
- Bieniawski R.T. (1989) Engineering Rock Mass Classification Wiley p.251
- Bowles J.E. (1991) Fondazioni. Progetto e analisi. McGraw Hill Italia pp 1126
- Cherubini C. (2006) Alcune considerazioni sull'uso dei sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi Il Convegno Nazionale AIGA Bari
- Cherubini C., Giasi C.I., Baldassarre G. (2004) Geological and geotechnical properties of carbonatic tocks outcropping in Bari town. Proceedings of the International Symposium on Engineering Geological problems of urban areas. Enggeolcity. Ekaterinburg Russia.
- Cherubini C., Giasi C.I., Ramunini F.P.(1985) Fondazioni su roccia. Rivista Italiana di Geotecnica Anno XIX N°1 pp.43-56 Napoli
- Cherubini C., Giasi C.I., (2005) The evaluation of deformability modulus by rock mass classification systems: a comparative study. Journal of Civil Engineering Research and Practice, Vol. 2 No. 1, April 2005, pp. 67 - 75
- Cotecchia V. (1971) Su taluni problemi geotecnici in relazione alla natura dei terreni della Regione Pugliese. Rivista Italiana di Geotecnica. N°1 pp.11-31, Napoli
- Deere D.U., Miller R.P. (1966) Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Technical Report N° AFWL-tr-65-116 – Air Force Weapons Laboratory. Kirkland Air Force Base. New Mexico.
- Gioda G. (1981) Meccanica delle rocce. CLUP Milano.
- Gokceoglu C., Sommez H., Kayabasi A. (2000) Predicting the deformation moduli of rock masses. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 40 pp 701-710.
- Grassi D. (1974) Il carsismo della Puglia e la sua influenza sulla idrogeologia della Regione. Geologia Applicata e Idrogeologia. Vol. IX pp 119-160, Bari
- El-Naqua A. (2004). A comparative review in regards to estimating bearing capacity in jointed rock masses in northeast Jordan. Bulletin of Engineering Geology and the Environment vol.63 N° 3 pp. 223-245.
- Kayabasi A., Gokceoglu C., Ercanoglu M. (2000) Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study. Int. Journal of Rock Mech and Mining Sciences 40 pp 55-63.
- Hoek F., Brown E.T. (1997) Practical estimates of rock mass strength. Ing. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences N° 31 (B) pp. 1165-1168.
- Lama R.D., Vutukuri V.S. (1978) In situ testing of Rock Handbook on Mechanical Properties of Rocks. Trans Tech. Publications vol III.
- NICHOLSON G.A., BIENIAWSKI Z.T. (1990) A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification. International Journal of Mining Geological Engineering n. 8 pp. 181-202.
- Mehrotra V.K., Mitra S., Agrawal C.K. (1991) Need of long-term evaluation of rock parameters in the Himalaya. Proc. 7<sup>th</sup> International Congress on Rock Mechanics. ISRM Aachen Vol. I pp 289-292.
- Mitri H.S., Edrissi R., Henning J. (1994) Finite element modelling of cable bolted stopes in hard rock ground mines. Presented at the SME Annual Meeting New Mexico Albuquerque pp 94-116.
- Palmstrom A. (1995) Characterizing the Strength of Rock Masses for use in Design of Underground Structures. Conference Design and Construction of Underground Structures. New Delhi pp. 43-52.
- Palmstrom A., Singh R. (2001) The deformation modulus of rock masses. Comparison between in situ tests and indirect estimates. Tunnelling and Underground Space Technology N° 16 pp. 115-131.
- Peck R.B., Hanson W.E, Thornburn T.A. (1974) Foundation Engineering II Edition J. Wiley and Sons.
- Pieri P. (1975). Geologia della città di Bari. Mem. Soc. Geol. It. 14 pp.379-407, Roma
- Radina B.(1958) Sui terreni di fondazione della città di Bari. Giorn. Gen. Civ. 10, pp.1-8
- Romana M. (1995) A Geomechanical Classification for Slopes. Slope Mass Rating. In: Comprehensive Rock Engineering. Hudson J.A. Ed. Pergamon Press.
- Singh B., Goel R.K. (1999) Rock mass classification. A practical approach in civil engineering. Elsevier pp 267.
- Spilotro G. (1983) Contributo allo studio delle caratteristiche di deformabilità di ammassi carbonatici stratificati e carsificati pugliesi. Geologia Applicata e Idrogeologia. Vol XVIII parte II pp. 261-278
- Stagg K.G., Zienkiewicz O.C. (1968) Rock Mechanics in Engineering Practice. J. Wiley & Sons N.Y.
- U.S. Army Corps of Engineers (1994) Rock Foundations. Engineering and Design. EM 1110-1-2908. Department of the Army. Washington
- Zhang L., Einstein H. (2004) Using RQD to estimate the deformation modulus of rock masses. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences N° 41 pp 337-341.
- Wyllie D.C. (1992) Foundations on Rock. E & FN Spon London 333 pp.