

## RISULTATI DI UNA CAMPAGNA SPERIMENTALE PER IL TRACCIAMENTO DELLE CURVE DI CORRELAZIONE PER LO SCLEROMETRO PER ROCCIA.

di **Giovanni Menditto, Stefano Bufarini, Vincenzo D’Aria**

*Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di Architettura, Costruzioni e Strutture*

con la collaborazione di **Michele Massaccesi**

*DRC Development & Reserch Centre di Ancona*

### 1. Introduzione

Nelle applicazioni tecniche si presenta frequente la necessità, sia nella fase progettuale che esecutiva, di disporre di indicazioni, sia pure di massima, dello stato dell’ammasso roccioso relativamente al quale devono essere predisposte opere di sostegno o profonde.

A tal fine è strumento di utilizzo corrente lo sclerometro per rocce tipo L mentre l’indicazione più completa sulla valutazione della durezza superficiale delle pietre naturali è attualmente nella ASTM D 5873-00 “*Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method*” American Society for Testing and Materials.

Per le indicazioni generiche sul principio, apparecchiatura, procedimento e risultato della prova sclerometrica si faccia riferimento alla UNI EN 12504-2:2001 (*Prove non distruttive – determinazione dell’indice sclerometrico*).

Nel presente lavoro vengono presentate le curve di regressione che correlano i valori degli indici sclerometrici con il probabile valore della resistenza meccanica della roccia, indipendentemente dalla specifica natura dello stesso. Si viene a disporre in tal modo di un elemento fondamentale per il progettista sia ai fini strutturali che per il dimensionamento delle opere di presidio temporaneo o di rivestimenti provvisori nel caso delle gallerie.

### 2. Scopo, limitazioni e campo di applicazione

L’indice sclerometrico determinato mediante questo metodo può essere utilizzato principalmente per prove in sito effettuate ai fini ingegneristici, progettuali e costruttivi; in particolare per:

- a. il rilievo qualitativo dello stato di omogeneizzazione dei materiali rocciosi;
- b. la misura della resistenza dei materiali rocciosi attraverso una valutazione della compressione monoassiale non confinata;
- c. la valutazione dello stato di alterazione di materiali rocciosi attraverso rapporti tra gli indici di rimbalzo rispettivamente sulle pareti dei giunti (discontinuità in corrispondenza delle quali non si osservano marcati scorrimenti tra le facce) e su una superficie fresca della stessa roccia ottenuta per segregazione;
- d. la valutazione del coefficiente di JCS (*Jont wall compressive strenght*);
- e. la stima della velocità di penetrazione per le frese meccaniche a piena sezione.

La prova sclerometrica non va intesa come un’alternativa per la determinazione della resistenza a compressione del materiale roccioso ma, con una opportuna correlazione, può fornire una stima della resistenza in sito.

La prova si basa sulla corrispondenza tra il carico unitario di rottura a compressione e la durezza superficiale del materiale roccioso, attraverso la misura dell'energia elastica rimanente (*metodo di rimbalzo*).

E' comunque da avvertire che negli ammassi rocciosi lo stato di sollecitazione locale è quello di "elementi confinati" e quindi pluriassiali, sicché per una corretta interpretazione degli indici sclerometrici, occorre, in generale, disporre di ulteriori curve di correlazione tra gli stati tensionali mono e pluriassiali.

### 3. Sistema di funzionamento dello sclerometro

Il principio di funzionamento dello strumento è che una massa scagliata da una molla colpisce un pistone a contatto con la superficie ed il risultato della prova viene espresso in termini di distanza di rimbalzo della massa.

L'apparecchiatura è costituita da una massa mobile dotata di una certa energia cinetica iniziale che urta la superficie di una massa di pietra naturale. In seguito all'urto si ha una redistribuzione dell'energia cinetica iniziale che, in parte, è assorbita dal materiale sotto forma di energia di deformazione plastica ed, in parte, è restituita alla massa mobile che rimbalza per un tratto proporzionale alla residua energia disponibile. Siffatta distribuzione di energia richiede come condizione essenziale, che la massa del materiale da verificare sia praticamente infinita in rapporto con la massa dell'equipaggio mobile; contrariamente una parte dell'energia iniziale, dipendendo dalle masse relative dei due corpi che si urtano, sarebbe trasferita alla roccia sotto forma di energia cinetica. La condizione di massa infinita della roccia si realizza usando masse d'impatto molto piccole.

Per ottenere l'energia necessaria per l'impatto si usa un sistema di molle. La corsa di rimbalzo è determinata dall'energia di rimbalzo in seguito all'urto con il materiale da saggiare e dalle caratteristiche del sistema di molle.

Tutti i dispositivi di prova che si basano sull'utilizzazione dei risultati dovuti all'energia d'impatto, devono essere provvisti di controllo della taratura in quanto, dopo un uso prolungato, le molle modificano le loro costanti elastiche.

### 4. Caratteristiche della strumentazione utilizzata nella sperimentazione

La campagna sperimentale, i cui risultati sono qui presentati, è stata condotta utilizzando uno sclerometro meccanico tipo L denominato "GEOHAMMER" (foto n° 1) con energia d'impatto di 0,735 N×m, prodotto dalla DRC s.r.l. di Ancona.

In mancanza di una specifica normativa comunitaria, o quantomeno, di linee guida si è proceduto sulla scia di quanto già noto per lo sclerometro per calcestruzzo (Tipo N).

L'incudine in acciaio di taratura (foto n° 2), su cui è stata eseguita la verifica del martello, ha le seguenti caratteristiche tecniche:

Durezza:	> 60 HRC
Massa:	16 Kg
Diametro:	147 mm



Foto n° 1



Foto n° 2

La verifica di taratura si è articolata secondo le seguenti fasi:

- ❑ azionamento dello strumento almeno tre volte prima di iniziare ad effettuare le letture all'incudine di taratura, per assicurarsi che la meccanica dello stesso funzioni correttamente;
- ❑ inserimento dello sclerometro nell'anello di guida dell'incudine (figura n° 1) ed all'esecuzione di una serie di battute ( $n^{\circ} \geq 10$ );
- ❑ verifica che la media degli indici di rimbalzo delle battute sclerometriche effettuate con lo sclerometro GEOHAMMER all'incudine di taratura sia uguale  $70 \pm 2$ , come prescritto dal produttore.

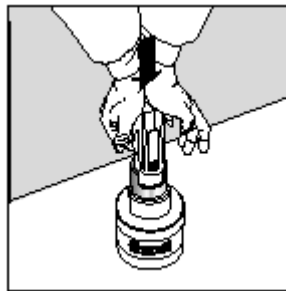


Figura n° 1

## 5. Natura delle superfici da testare in sito

Le superfici degli ammassi rocciosi da testare in sito, inclusi affioramenti naturali o superficiali preparati come pareti di tunnel o superfici pavimentate, dovranno avere un'area di prova liscia e piana di almeno 15 cm di diametro.

In caso di affioramenti superficiali occorre evitare di campionare o sottoporre a prova materiale indebolito dall'azione aggressiva degli agenti atmosferici, alterato, o per qualche ragione, ritenuto non rappresentativo del materiale di interesse.

La superficie di prova di tutti i campioni, in sito o da laboratorio, dovrà essere liscia al tatto e priva di giunti, fratture o altre discontinuità localizzate fino ad una profondità di almeno 6 cm. La roccia in sito dovrà essere piatta e priva di graniglia superficiale sull'area interessata dal funzionamento del pistone.

Se la superficie di prova è molto rugosa, occorre levigarla delicatamente con la mola abrasiva posta a corredo dello strumento.

## 6. Curve di regressione e sperimentazione

Una corretta applicazione del metodo sclerometrico richiederebbe il tracciamento delle curve di correlazione con riferimento al materiale in opera. Poiché questa operazione non è concretamente praticabile, a causa dell'enorme varietà delle pietre naturali esistenti, ci si limita al tracciamento delle curve di regressione sulla base di provini cubici di pietra appartenenti a determinate "tipologie"; precisamente sono state sottoposte ad indagine ammassi rocciosi più ricorrenti come quelli riportati nella tabella n° 1:

Denominazione	Tipologia	Località Provenienza
Porfido	Porfido	Cava del porfido della Valtellina
Macigno (pietra serena)	Arenaria	Fiorenzuola (FI)
Travertino	Travertino	Tivoli (RM)
Pietra Leccese	Calcari Teneri	Lecce
Trani (Apricena)	Calcari Compatti	Apricena
Marmi	Marmi	San Pietro Mussolini (VI)
Tufo	Tufo	Cave del tufo (Lazio)

Tabella n° 1

Del resto la resistenza del materiale può essere stimata approssimativamente solo in presenza di una curva sperimentale di taratura che correli la resistenza di quel determinato materiale e l'indice di rimbalzo.

In mancanza può utilizzarsi una curva molto più generale che è quella fornita come supporto dal costruttore dello sclerometro.

La campagna sperimentale condotta in tal senso è stata quella di sottoporre a prove distruttive (schiacciamento alla pressa) e non distruttive (battute sclerometriche) un numero di 60 provini cubici di lato 75 mm di ciascuna pietra naturale selezionata riportata in tabella n° 1 (Foto n° 3), seguendo le norme:

- UNI EN 12670 :2003 "*Pietre naturali - Terminologia*";
- UNI EN 1926:2000 "*Metodi di prova per pietre naturali – Determinazione della resistenza a compressione*".

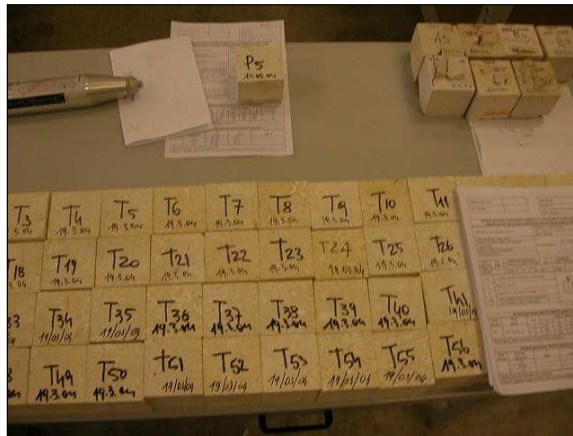


Foto n° 3

Ogni provino cubico è stato sottoposto ad:

- accurato controllo dimensionale e relativa pesatura;
- esecuzione delle battute sclerometriche.

Per rendere i risultati delle battute sclerometriche il più possibili indipendenti dall'operatore, è stata progettata e costruita dall'Eurosit un'attrezzatura denominata ATHR (*Alfa Test Hammer Robot* - brevetto n° AN2002A000028, foto n° 4) che consente l'automatico afferraggio dei provini cubici tra i piatti di una pressa con una sollecitazione di  $1 \text{ N/mm}^2$ , in modo da tenerli rigidamente fissati, impedendone ogni movimento durante l'impatto. E' stato così possibile realizzare in sequenza quattro battute per faccia, rilevandole da un'apposita telecamera e monitor esterno nelle condizioni di inclinazione dello strumento di  $\alpha = -90^\circ, 0^\circ \text{ e } +90^\circ$  (dove  $\alpha$  è l'angolo che l'asse dello sclerometro forma con l'orizzontale).

- Schiacciamento dei provini (foto n° 5).

Si è ottenuta una nuvola di punti sperimentali tra durezza superficiale e carico unitario di rottura: i dati raccolti sono stati trattati ricercando i valori più attendibili per le curve di correlazione con il principio della massima verosimiglianza.

Ipotizzando tra l'indice di rimbalzo ( $I$ ) e la resistenza alla compressione su cubo in pietra ( $R$ ) una correlazione del tipo

$$R_{\text{cub.}} = a \times I^b$$

( $a, b$  costanti)

sulla base dei dati raccolti, l'applicazione del metodo dei minimi quadrati ha consentito, impiegando un programma di elaborazione statistica, la determinazione delle costanti  $a$  e  $b$  pervenendo alle relazioni (figura n° 2):

$$R_{\text{cub.}} = 0,0775 \times I^{1,9823} \quad (\text{N/mm}^2)$$

per  $\alpha = -90^\circ$  con coefficiente di correlazione pari a 0,9396 (figura n° 3);

$R_{cub.} = 0,0232 \times l^{2,2637}$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 per  $\alpha = 0^\circ$  con coefficiente di correlazione pari a 0,9278 (figura n° 4);

$R_{cub.} = 0,0074 \times l^{2,5172}$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 per  $\alpha = +90^\circ$  con coefficiente di correlazione pari a 0,9192 (figura n° 5).

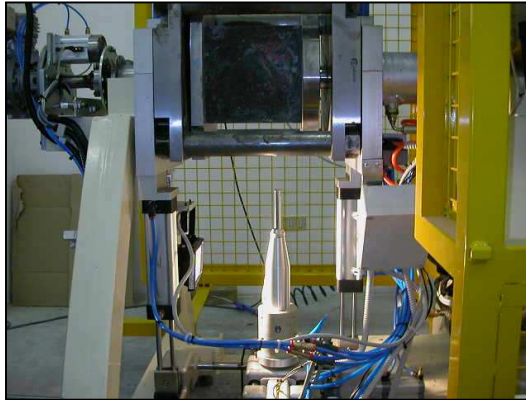


Foto n° 4



Foto n° 5

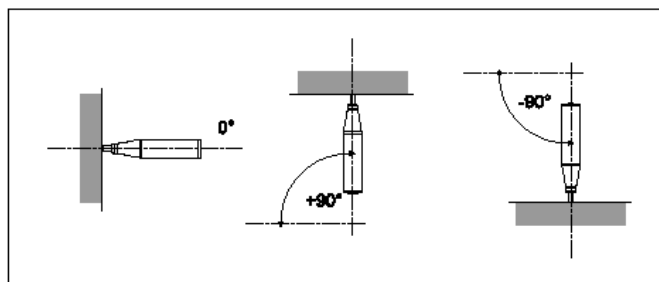


Figura n° 2

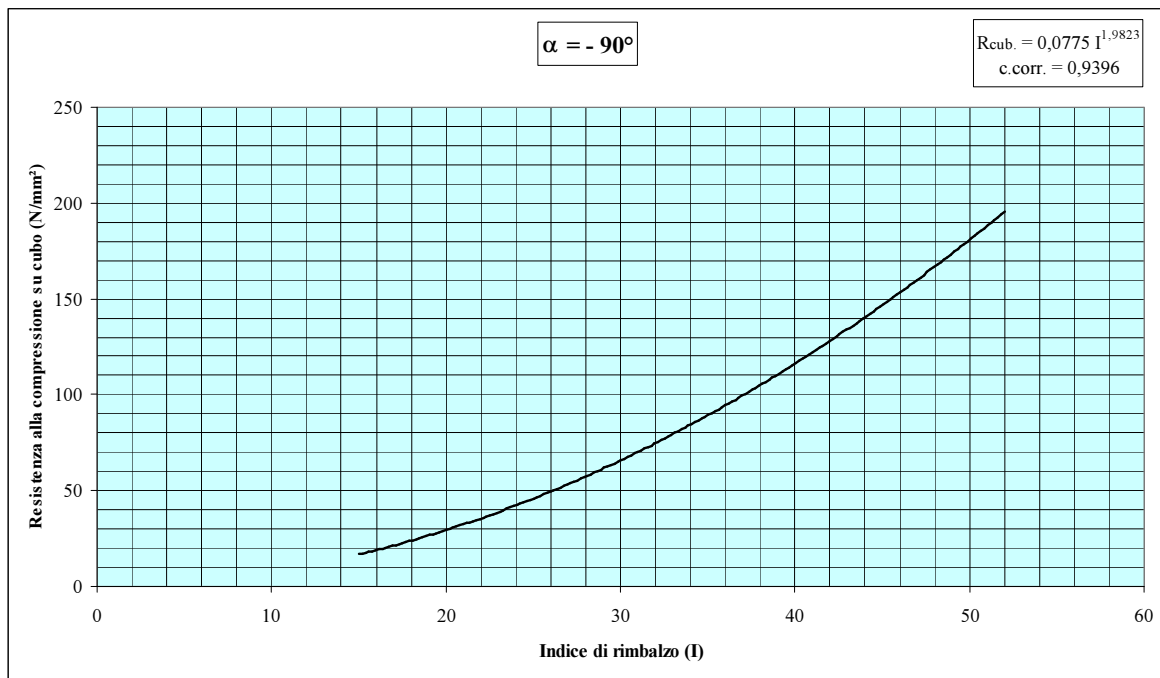


Figura n° 3

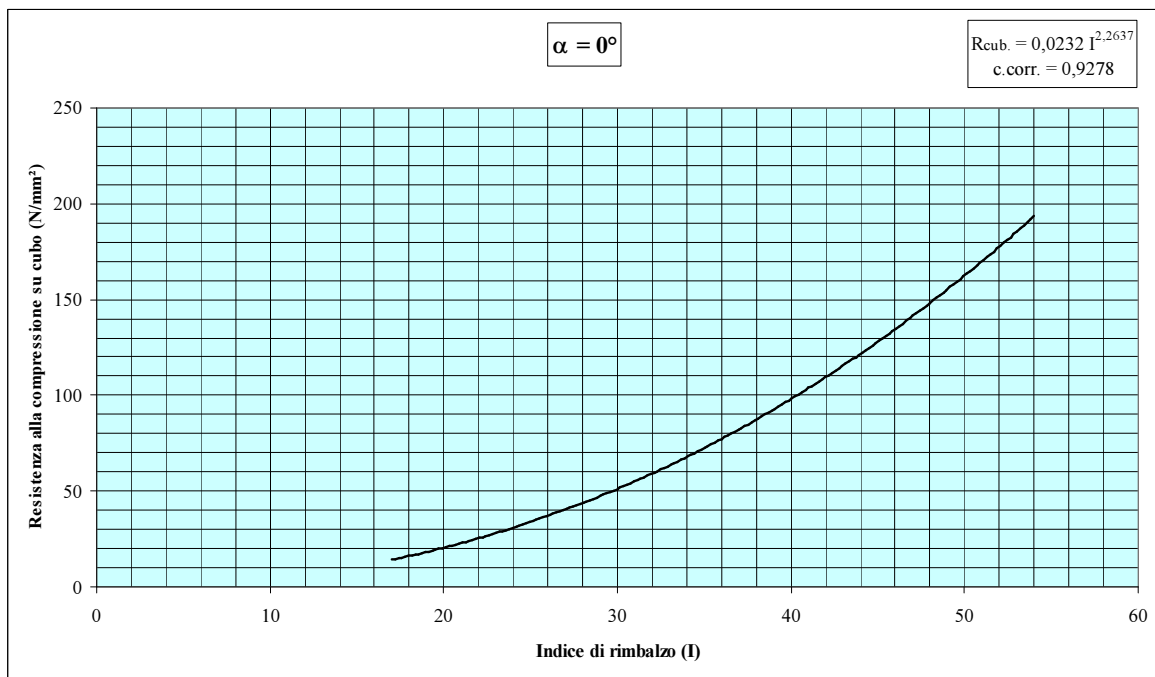


Figura n° 4

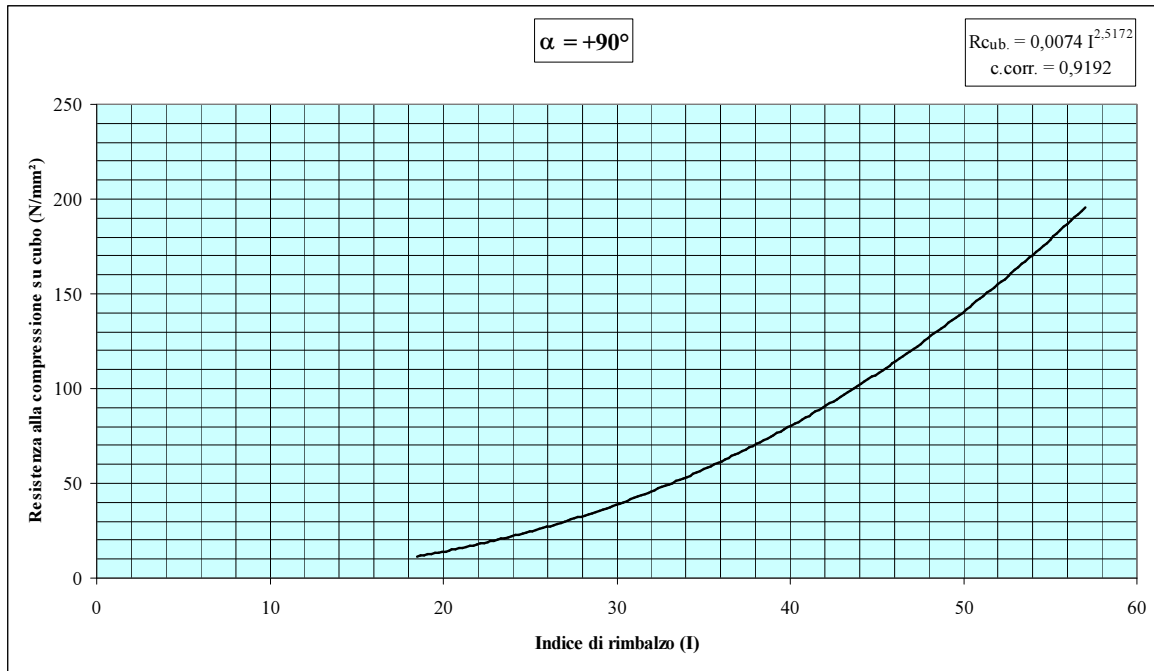


Figura n° 5

### Ringraziamenti

Si ringrazia vivamente la DRC Development & Reserch Centre di Ancona per aver sponsorizzato la campagna sperimentale ed aver posto a disposizione degli Autori i risultati ottenuti.

### Riferimenti bibliografici:

- ❑ ASTM D 5873-00 "Standard test for determination of rock hardness by rebound hammer method" *American Society for testing and materials*;
- ❑ UNI EN 12504-2:2001 "Prove non distruttive – Determinazione dell'indice sclerometrico";
- ❑ UNI EN 1926 "Metodi di prova per pietre naturali – Determinazione della resistenza a compressione";
- ❑ UNI EN 1936 "Metodi di prova per pietre naturali – Determinazione delle masse volumiche reale e apparente e della porosità totale e aperta";
- ❑ Rebound and ultrasonic investigations on freestones of Bamberg area, F.R. Germany;
- ❑ Diagnosis of weathering on rock carving surfaces in northern Bohuslän, Southwest Sweden, Rabbe Sjoberg – Umea University Sweden;
- ❑ The effect of surface texture on the determination of the surface hardness of rock using the Schmidt hammer, R. B. G. Williams and D. A. Robinson – Geography Laboratory University of Sussex – Brighton UK;
- ❑ A rapid method of determining the strength of rock in situ, V. Hucka – Scientific Coal Institute – Ostrava-Radvanice Czechoslovakia;
- ❑ Ippolito, F. – Nicotera, P. – Lucini, P – Civita, M. – De Riso, R. – Geologia tecnica – Isedi – Milano, 1977;
- ❑ Artini, E – Le Rocce – Hoepli, Milano 1964;
- ❑ Farmer, I.W. – Engineering Properties of Rock – Spon, London 1968.