



Università degli Studi  
di Palermo

## VALUTAZIONE DELL'ALTERAZIONE CON LASER SCANNER NEGLI AMMASSI A STRUTTURA ORIENTATA E NELLA DIAGNOSTICA DEI BENI MONUMENTALI

**M. Zimbardo**

\* Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale ed Aerospaziale (DICA)  
Università di Palermo

Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy  
e-mail: margherita.zimbardo@unipa.it

*(Ricevuto 15 Giugno 2011, Accettato 04 Ottobre 2011)*

**Key words:** Weathering, scanner laser, Schmidt hammer, reflectivity, rough surface, shear strength, discontinuities

**Parole chiave:** Alterazione, scanner laser, martello di Schmidt, riflettività, scabrezza, resistenza al taglio, discontinuità.

**Abstract.** *The applications of laser technology in the field of Rock Mechanics are at a stage of development that allow a reliable use for the reliefs of the mesostructure and for the morphological reconstruction of monuments in place of traditional techniques such as, for example, photogrammetry. The most recent research suggests that the laser may also allow assessment of characteristics such as roughness, which is known to affect the shear strength of discontinuities. Assessing the ratio between the energy of the reflected ray and the one emitted by the instrument, called "reflectivity ( $I$ )", it seems possible, also get information on the status of surface discontinuities or areas of historic monuments.*

*This note presents results of research about relationship between the index ( $I$ ) and the hammer Schmidt rebound  $r$  both on stone surfaces and on historical artifacts characterized by different levels of alteration.*

**Sommario.** *Le applicazioni della tecnologia laser nel campo della Meccanica delle Rocce sono in una fase di sviluppo tale da consentirne un impiego affidabile nei rilievi della mesostruttura e nella ricostruzione morfologica dei beni monumentali in sostituzione delle tecniche tradizionali quali, ad esempio, la fotogrammetria. Le ricerche più recenti indicano che il laser può consentire anche valutazioni di caratteristiche come la scabrezza, di cui è nota l'influenza sulla resistenza al taglio delle discontinuità. Valutando il rapporto fra l'energia del raggio riflesso e di quello emesso dallo strumento, denominato "riflettività ( $I$ )",*

*sembra possibile, inoltre, ottenere informazioni sullo stato delle superfici delle discontinuità o delle superfici dei beni monumentali.*

*Nella presente nota si presentano risultati di una ricerca sulla correlabilità dell'indice (I) con il ribalzo del martello di Schmidt sia su ammassi lapidei sia su superfici di manufatti storici caratterizzati da diversi livelli di alterazione.*

## 1 INTRODUZIONE

La tecnologia "laser scanning" permette, come è noto, l'acquisizione delle coordinate 3D di un elevato numero di punti ('nuvole di punti') della superficie dell'oggetto da rilevare. Ampiamente utilizzata nel rilievo tridimensionale di beni monumentali di complessa ed articolata morfologia, consente anche restituzioni della struttura orientata<sup>1,2</sup> più precise e meno onerose degli ormai "tradizionali" rilievi con la fotogrammetria terrestre<sup>3</sup>. Fornisce altresì informazioni di elevata precisione anche sulla scabrezza 3D delle superfici delle discontinuità<sup>4,5</sup>, e sulla eventuale anisotropia di tale caratteristica, superando le limitazioni associate alle tecniche di rilievo con profilometro, in genere limitate a singole sezioni, orientate secondo direzioni prefissate. La possibilità di rilievi tridimensionali molto accurati della scabrezza ha consentito, inoltre, nuove e più affinate formulazioni della resistenza al taglio di picco di discontinuità scabre<sup>6</sup>.

Gli strumenti "scanner laser", oltre alle coordinate X, Y, Z di punti della superficie da rilevare, registrano il colore RGB e misurano i valori dell'energia del raggio incidente e riflesso, fornendone il rapporto I (riflettività), della micro-porzione di superficie in cui la scansione discretizza la parete da rilevare.

Ne derivano nuovi campi di applicazione. Ad esempio con l'elaborazione digitale delle immagini e dei valori dell'intensità forniti da scansioni laser<sup>7</sup> è stato possibile correlare la riflettività al contenuto di minerali argillosi nelle rocce<sup>8</sup>.

La "riflettività" dipenderebbe dalle caratteristiche del materiale costituente la superficie oggetto del rilievo, dalla lunghezza d'onda del segnale luminoso, e, probabilmente, anche dalle condizioni meteorologiche. La riflettività registrata durante la scansione potrebbe fornire, quindi, informazioni sulle caratteristiche tessiturali (microfratturazione, microscabrezza, porosità, alterazione) della roccia e sul decadimento dei materiali lapidei.

## 2 RILIEVI ED ANALISI SPERIMENTALI

L'indagine è stata effettuata su una balza di roccia costituita di calcare mesozoico sul versante Nord ovest di Monte Pellegrino e sulle colonne del portale monumentale di palazzo Jung a Palermo costituite da un blocco monolitico di calcare nodulare giurassico. Entrambi i siti presentano condizioni microclimatiche che hanno favorito l'innescare di processi di alterazione della roccia di differente intensità in funzione dell'esposizione. A Monte Pellegrino le misure sono state acquisite sul fronte di una trincea stradale realizzata negli anni '50 che, malgrado l'uso di esplosivi, cui si deve la localizzata formazione di fratture a disposizione radiale, presenta una morfologia superficiale determinata da discontinuità di origine sinsedimentaria e tettonica. Sia la trincea di Monte Pellegrino, sia le colonne di Palazzo Jung, si sono rivelate particolarmente adatte per un'analisi comparativa tra i valori di resistenza misurati con tecniche dirette tradizionali (martello di Schmidt, indice di rimbalzo r) e quelli ricavabili dal rilievo mediante scanner laser poichè presentano, nel primo caso, la coesistenza di superfici di roccia poco alterata in corrispondenza di fratture recenti e di superfici fortemente alterate

delle discontinuità naturali e, nel secondo caso gradi di alterazione progressivi in fasce parallele alla generatrice della colonna.

In entrambi i siti i rilievi sono stati effettuati con lo *scanner laser* RIEGL LMS-Z210, del DIG di Napoli, avente un campo di scansione  $80^\circ \times 360^\circ$ , in grado di misurare, con angoli a passi programmati, fino ad una distanza di 486 m con una precisione di 14 mm. La velocità d'acquisizione può arrivare sino a 9387 punti/s. La lunghezza d'onda del raggio emesso è compresa fra 0,8 e 1,1 micron.

Con la stessa tecnica sono stati sviluppati in laboratorio rilievi su campioni di rocce tenere (calcarenite e tufo) con differenti contenuti d'acqua sottoposti a progressivi processi di alterazione.

## 2.1 Trincea di Monte Pellegrino

La trincea di Monte Pellegrino è caratterizzata da un'inclinazione ( $\alpha$ ) media di  $81^\circ$  e un azimut dell'inclinazione ( $\beta$ ) di  $355^\circ$ ; la mesostruttura è stata ripetutamente rilevata con tecniche tradizionali (scanlines e bussola di Clarr), durante i rilievi finalizzati alla verifica dei limiti di applicabilità e delle potenzialità della fotogrammetria terrestre<sup>9</sup>. Il diagramma di isodensità che ne è derivato evidenzia quattro famiglie principali di discontinuità, due con "direzione" sub-parallela alla parete (set 2 e set 4) e le altre due con "direzione" quasi ortogonale alla trincea (set 1 e set 3) (figura 1).

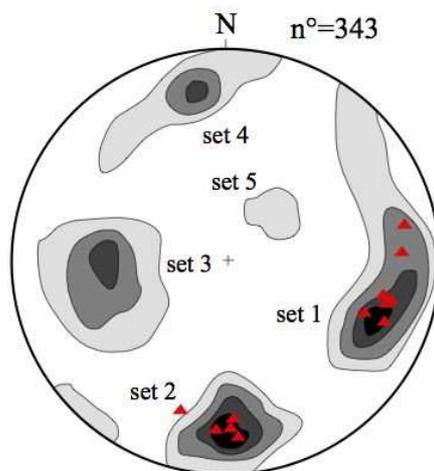


Figura 1 Mesostruttura dell'ammasso e poli di discontinuità determinati con il laser scanner.

Sulla parete di prova, oltre ad alcuni *target* relitti dello studio sulla fotogrammetria, sono stati posizionati i nuovi *target* in dotazione allo *scanner laser* collocato ad una distanza di circa 10 m. La scansione è stata eseguita con una risoluzione di  $0,018^\circ$ .

Per ottenere i dati necessari alla determinazione dei valori  $\alpha$  e  $\beta$  delle discontinuità, la nuvola di punti è stata elaborata con il software RISCAN PRO di grafica tridimensionale, selezionando alcuni punti all'interno di ciascun piano di discontinuità, calcolando l'equazione del piano che li interpola e determinandone la giacitura rispetto al Nord. Alcuni poli di discontinuità derivanti da tale elaborazione vengono rappresentati nel diagramma di figura 1 con triangoli.

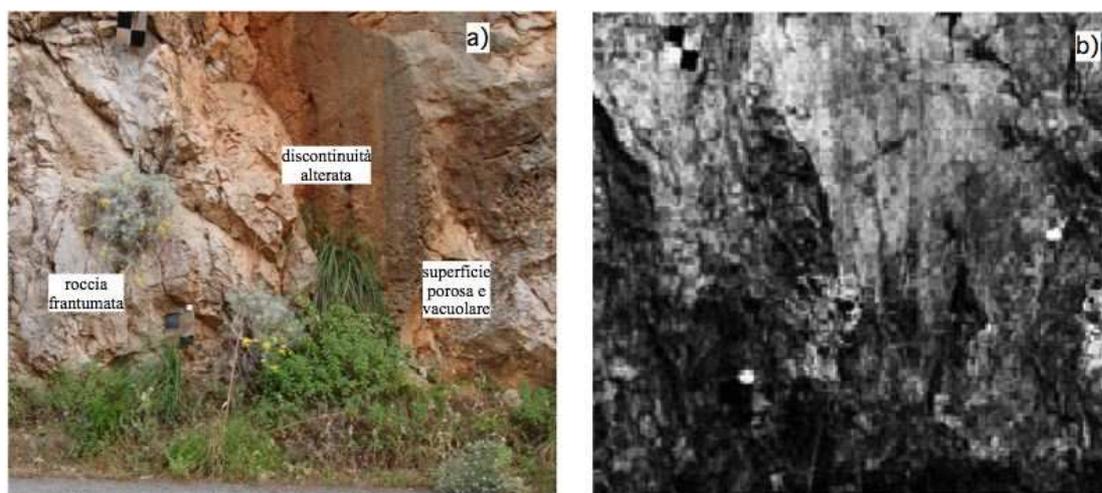


Figura 2 Zona del rilievo della riflettività: a) immagine fotografica; b) nuvola di punti dello scanner laser

Per le valutazioni delle “riflettività” è stata scelta una porzione di parete (figura2) nella quale coesistono discontinuità con diverso tipo e grado di alterazione e roccia non alterata, ma intensamente fratturata dalle operazioni di riprofilatura della parete. Alcune delle discontinuità sono caratterizzate da superfici, lisce nella porzione superiore, che assumono un aspetto cariato e vacuolare in prossimità della sede stradale.

Sono stati misurati valori di  $I$  compresi fra 35% e 55%. I valori più bassi ( $I=35\% \div 45\%$ ) con un valore medio  $I_{\text{medio}}=42\%$  sono risultati associati alla roccia fratturata che conferisce alla parete un'accentuata scabrezza a piccola scala. Valori analoghi sono stati misurati in corrispondenza delle discontinuità alterate con superficie resa scabra dalla presenza di pori e vacuoli. Sulle porzioni di discontinuità con superficie alterata, ma liscia e tessitura uniforme sono stati rilevati i valori di  $I$  mediamente pari al 47%. Valori più elevati sono stati rilevati solo sulla roccia intatta e poco alterata ( $I_{\text{medio}}=52.5\%$ ). Nella zona in cui prevale la roccia fratturata e sulle discontinuità alterate con superficie carciata e vacuolare sono stati misurati valori di rimbalzo ( $r$ ) del martello di Schmidt variabili fra 18 e 52 ( $r_{\text{medio}}=31$ ). Sulle discontinuità alterate, ma con superficie uniforme sono stati determinati valori di  $r$  compresi fra 26 e 53 ( $r_{\text{medio}}=42$ ). Sulle superfici poco alterate o di roccia massiva sono stati determinati valori compresi fra 35 e 62 ( $r_{\text{medio}}=52$ ). Nella prima zona (roccia frantumata) è molto probabile che la dispersione dell'indice  $r$  derivi anche dal volume estremamente variabile dei frammenti di roccia su cui sono state eseguite le misure. In tutte le zone i valori misurati sono risultati comunque dispersi in ampi intervalli.

I valori di “riflettività” sono stati elaborati, con il software Riscan-Pro, in curve di “isoriflettività” (figura 3) di colore rosso per  $I$  compreso fra 35% e 45%; azzurro per  $I$  compreso fra 45% e 50% e giallo per  $I$  compreso fra 50% e 55%.

In tabella 1 si riportano i valori medi della riflettività  $I$  e del rimbalzo  $r$  misurati nelle tre zone sopra elencate.

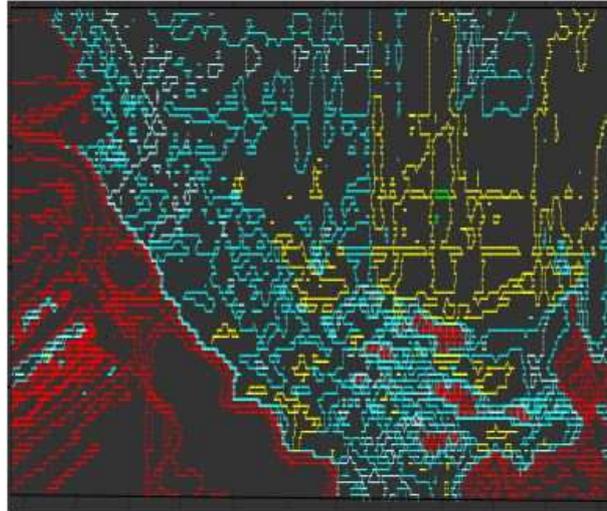


Figura 3 Curve di isoriflettività elaborate dal software RISCAN PRO

|  | <b>I medio %</b> | <b>r medio</b> |
|--|------------------|----------------|
| <b>Roccia fratturata per le operazioni di scavo/<br/>discontinuità alterata con pori e vacuoli</b> | 42               | 31             |
| <b>Discontinuità alterata</b>  | 47               | 42             |
| <b>Discontinuità poco alterata</b>   | 52.5             | 52             |

Tabella 1 Dati trincea Monte Pellegrino : valori medi della riflettività I e del rimbalzo r.

## 2.2 Colonne di Palazzo Jung

La ricerca ha riguardato anche lo studio delle colonne dell'ingresso principale del palazzo Jung in Palermo, costruito fra la fine del 1700 e l'inizio del 1800, dal signor Rosario Sciarrino con lo scopo di celebrare il suo ingresso nella classe di sangue blu (figura 4).



Figura 4 Zona del rilievo della riflettività: a) immagine fotografica; b) nuvola di punti dello scanner laser

Abbandonato nel 1980, fu poi restaurato tra il 2000 e il 2003, diventando uno dei luoghi destinati ad esposizioni artistiche e manifestazioni culturali.

Si trova a pochi metri sopra il livello del mare ed a 700 metri dalla battigia.

L'ingresso principale, sul lato sud, è incorniciato da due colonne che sorreggono un ampio balcone in pietra.

Le colonne, di 0,6 metri di diametro e 2,8 m di altezza, sono due blocchi monolitici di calcare rosso ammonitico e sono collocati, ciascuno, su un grande blocco quadrato di pietra di Billiemi, breccia grigio scuro di età mesozoica.

Il "Rosso ammonitico" è un calcare giurassico rosso che, nel corso dei secoli XVII, XVIII e XIX, era usato come marmo per scopi decorativi e strutturali nell'architettura monumentale della Sicilia occidentale. Questo litotipo, caratterizzato da una struttura nodulare e talvolta di tipo "flaser", se utilizzato all'aperto, è sottoposto ad alterazioni che evidenziano le disuniformità tessiture e nei casi peggiori, causano fratture superficiali.

La colonna di destra è esposta in modo privilegiato allo spray marino cui conseguono i segni di degradi selettivi, che riguardano non solo l'aspetto cromatico, ma anche lo stato di aggregazione della roccia. Sulla medesima colonna è possibile osservare gradi di alterazione differenti in rapporto all'orientazione della superficie cilindrica allo spray marino. La superficie della colonna è interessata da un generale fenomeno di sbiancamento, la cui intensità è progressivamente maggiore a partire dalle zone rivolte verso il muro, sempre in ombra e protette dalla pioggia, verso quelle esposte all'irraggiamento solare e alle gocce di pioggia di rimbalzo e solo occasionalmente diretta. Le zone rivolte verso la strada presentano segni di un degrado più intenso in funzione della loro esposizione non solo allo scorrimento delle acque piovane ma anche dell'aerosol marino, infatti la colonna ha la fascia di maggiore alterazione lungo una generatrice esposta a est, in direzione del mare.

Le analisi al microscopio petrografico hanno mostrato che il calcare rosso ammonitico di Piana degli Albanesi è fatto di elementi, con diametro di un centimetro, in cui i grani sono saldati da contatti di tipo "pressure-solution" che hanno determinato interfacce di tipo stilolitico con una concentrazione residua di argille e ossidi. Gli elementi sono costituiti da due diversi "grainstones":

- a) con 70% di bioclasti sparitici e 30% di botroidi micritici e peloidi, di granulometria variabile tra i 30 e 450 micron;
- b) contenenti più di 80% di botroidi micritici e peloidi e circa il 20% di bioclasti, principalmente frammenti lamelibranchi, caratterizzato da una granulometria variabile tra 30 e 350 micron.

Gli elementi sono intersecati da venature sparitiche molto sottili. Talvolta le vene sono biforcute, con interposti cristalli di calcite. Lo spessore delle patine di prodotti residuali, che avvolgono gli elementi nodulari, varia da 25 a 150 micron. Le aree di colore rosso scuro che appaiono come una concretazione di cemento sono in realtà costituite da lithoclasti piccoli molto vicini tra loro e racchiusi nel materiale residuale.

In figura 5 si rappresentano le colonne sulle quali sono state eseguite sia misure con il martello di Schimdt sia i rilievi con lo scanner laser. Nella medesima figura (figura 5a) si riportano i diagrammi di frequenza cumulata relativi ai valori del rimbalzo  $r$  e della riflettività  $I$  delle due superficie. Per la colonna alterata i valori di  $r$  sono dispersi in un ampio intervallo fra 20 e 71.

I valori di riflettività misurata sono risultati compresi fra il 45% e il 55% nel caso della colonna alterata e compresi tra il 52% e il 57% per la colonna intatta di sinistra.

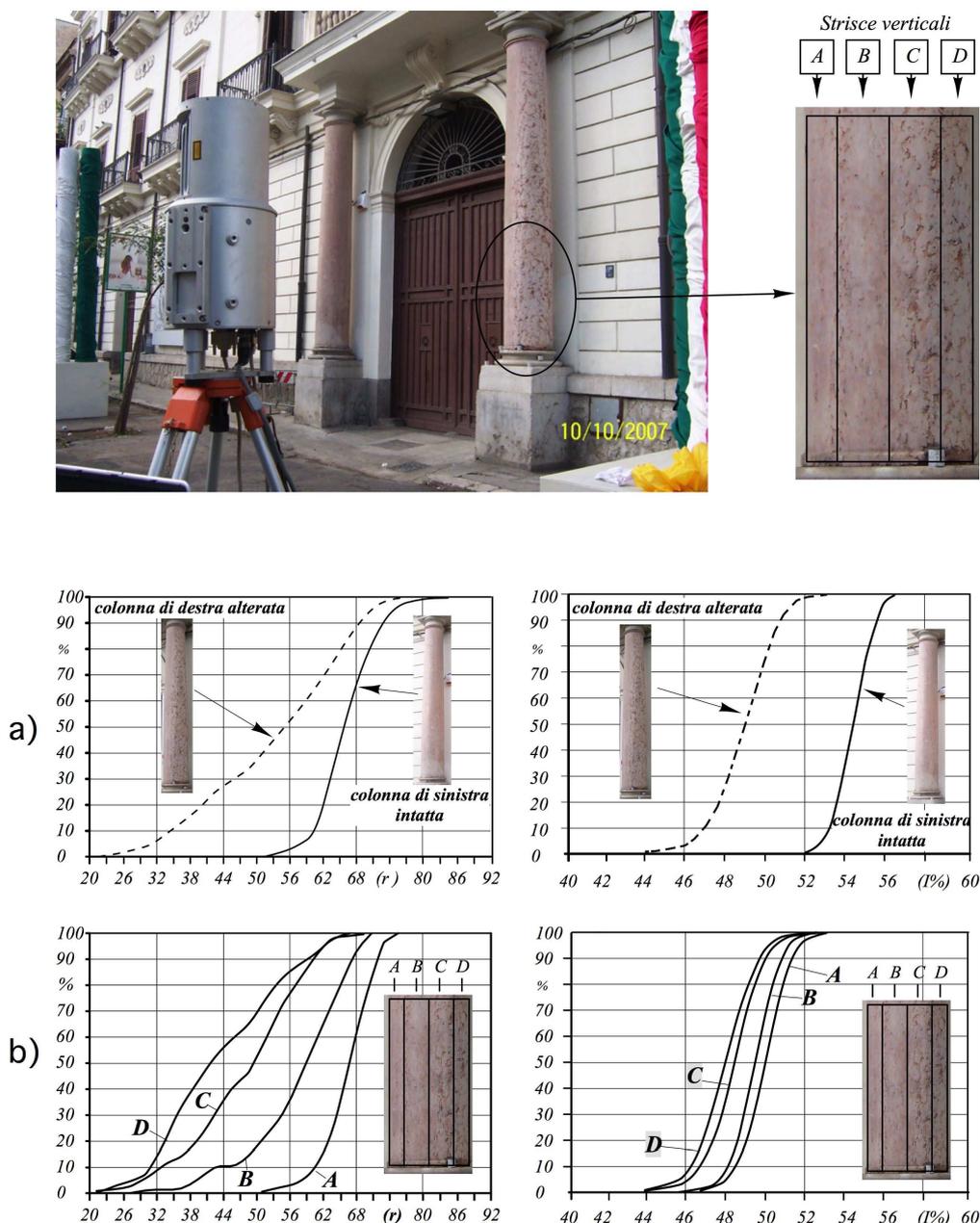


Figura 5 Colonne Palazzo Jung : diagrammi di frequenza cumulata del rimbalzo  $r$  e della riflettività  $I$  e diagrammi di frequenza cumulata per le quattro fasce verticali della colonna alterata.

Da questa prima elaborazione risulta evidente che l'alterazione della roccia influenza fortemente i valori di rimbalzo. La superficie della colonna alterata è stata suddivisa poi in quattro strisce verticali in funzione del livello di alterazione distinguibile ad occhio nudo. I dati elaborati per fasce verticali danno luogo ai diagrammi di frequenza cumulata di figura 5b) che evidenziano ulteriormente l'influenza dell'intensità di alterazione sia sui valori di riflettività sia sui valori del rimbalzo  $r$ . I valori medi di riflettività sono progressivamente decrescenti dalla fascia A, di roccia poco alterata alla fascia D, dove l'alterazione è massima.

In tabella 2 si riportano i valori medi di I e di r registrati nelle quattro fasce sopra indicate e nella colonna non alterata.

|                  | Colonna alterata |       |      |       | Colonna non alterata |
|------------------|------------------|-------|------|-------|----------------------|
|                  | A                | B     | C    | D     |                      |
| <b>I medio %</b> | 50.4             | 49.9  | 48.7 | 44    | 54.7                 |
| <b>r medio</b>   | 64.2             | 56.24 | 51.5 | 42.04 | 66                   |

Tabella 2 Colonne Palazzo Jung : valori medi della riflettività I e del rimbalzo r .

### 2.3 Misure su rocce tenere in laboratorio

L'indagine in situ sviluppata su rocce di resistenza media o alta è stata approfondita in laboratorio su campioni di rocce tenere (tufo e calcarenite) inducendo processi controllati di decadimento delle caratteristiche meccaniche. Preliminarmente è stata valutata l'influenza del contenuto d'acqua sulla "riflettività" verificandone la sensibilità anche a variazioni minime di w (figura 6). L'indagine sugli effetti del decadimento meccanico è sempre stata effettuata, invece, su campioni asciutti.

Per indurre processi di decadimento sono state utilizzate due distinte tecniche: una basata sugli effetti della termo-crio clastia indotta da cicli ripetuti di gelo (-20°) e di disgelo (+105°) ed una seconda basata sugli effetti espansivi della cristallizzazione di sali, e in particolare del solfato di sodio anidro. Le misure per ciascun litotipo forniscono valori di I variabili in intervalli ristretti pur in presenza di porosità significativamente diverse.

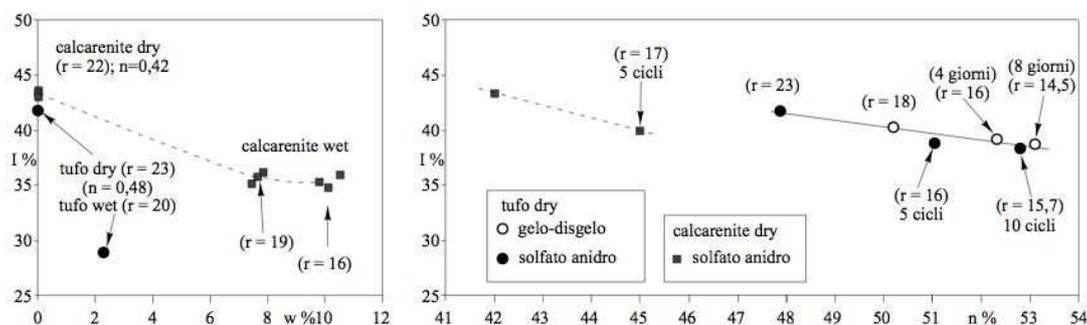


Figura 6 Influenza del contenuto d'acqua e del decadimento della tessitura sull'indice di riflettività e sul valore di r

All'inizio e alla fine di ciascun processo di decadimento, sono state effettuate misure con il martello di Schmidt. Come I, anche i valori di r, indipendentemente dalla tecnica utilizzata e dal litotipo, risultano decrescenti con il progredire del processo di decadimento. In tabella 3 si riportano i valori medi di I e r.

|             | Riflettività I (%) | Rimbalzo r |
|-------------|--------------------|------------|
| TUFO        | 40,43              | 17,83      |
|             | 38,00              | 12,53      |
|             | 39,74              | 16,34      |
|             | 38,86              | 14,41      |
|             | 40,51              | 18,02      |
|             | 36,63              | 9,55       |
|             | 37,77              | 12,04      |
|             | 40,58              | 18,16      |
| CALCARENITE | 40,00              | 17,00      |
|             | 41,50              | 22,00      |

Tabella 3 Effetti dell'alterazione artificiale su rocce tenere : valori della riflettività I e del rimbalzo r

### 3 CONCLUSIONI

L'applicazione della tecnologia scanner laser in sito è stata effettuata su due litotipi di resistenza media o alta di composizione carbonatica e bassa porosità. Un litotipo è caratterizzato da una tessitura compatta ed una macrostruttura orientata (Monte Pellegrino) l'altro da una tessitura nodulare e da una superficie esterna che presenta un progressivo stato di alterazione (colonna di Palazzo Jung). Dal diagramma di figura 7, nella quale sono stati inseriti i dati relativi a rocce tenere (calcarenite e tufo), si evince che esiste una correlabilità tra i valori medi di riflettanza I e dell'indice di rimbalzo r.

Per tutti i litotipi sono state determinate relazioni di tipo lineare tra i valori medi di I e r caratterizzati da valori elevati del coefficiente di correlazione e da valori simili del coefficiente angolare:

- $r=1,99 \cdot I - 52,52$        $R^2= 0,997$       (*Monte Pellegrino*)
- $r=2,38 \cdot I - 62,105$        $R^2= 0,863$       (*Palazzo Jung*)
- $r=2,364 \cdot I - 77,36$        $R^2= 0,98$       (*Rocce tenere*)

La dispersione delle misure più ridotta è relativa alle misure sulle rocce tenere, poiché trattandosi di singoli conci, essi erano caratterizzati da una spiccata uniformità tessiturale, mentre la dispersione dei dati rispetto ai valori medi è maggiore nel caso dei calcari fratturati di Monte Pellegrino per effetto della notevole variabilità dello stato delle superfici anche in aree molto circoscritte.

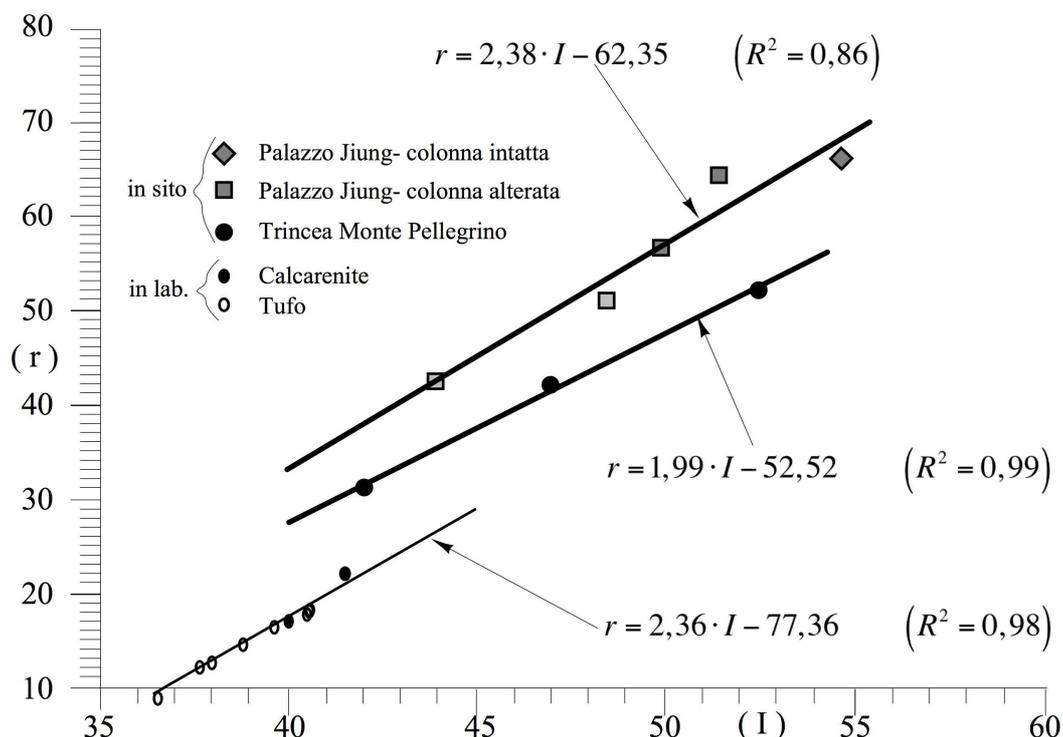


Figura 7. Correlazioni fra i valori medi di rimbalzo  $r$  e di riflettività  $I$ .

I valori più bassi e mediamente più dispersi sono relativi a zone in cui il raggio incidente penetra e si disperde parzialmente entro microcavità, come avviene nel caso delle superfici cariate e vacuolari, o in presenza di superfici molto irregolari per il distacco di scaglie o, ancora, in corrispondenza discontinuità aperte. Valori mediamente più alti e con un minor grado di dispersione sono stati ricavati in presenza di patine di alterazione uniformi dello spessore di pochi decimi di millimetro, mentre i valori più elevati di  $I$  ed  $R$  sono stati misurati in presenza di roccia intatta o al più interessata soltanto da alterazioni cromatiche.

Sulla colonna monolitica alterata di palazzo Jung valori minimi di dispersione rispetto ai valori medi sia del rimbalzo  $r$  che della riflettività  $I$  sono stati registrati per la fascia di materiale meno alterato (fascia A). Valori elevati di dispersione sono stati misurati per la fascia più alterata (fascia D) in corrispondenza della quale il processo di alterazione ha determinato la formazione di scaglie rimovibili o di venature depresse.

I risultati nel loro complesso indicano che la tecnica scanner laser potrebbe costituire un valido metodo per quantificare lo stato di alterazione di affioramenti naturali come falesie o scarpate o pareti lapidee naturale o artificiali in modo rapido e preciso.

Lo scanner laser, attraverso la misurazione della riflettanza, è in grado di fornire valutazioni quantitative del fenomeno di alterazione superficiale in quanto misura la riflettanza delle superfici dei singoli grani che compongono la roccia, e conseguentemente, per quanto riguarda lo stato di degrado del materiale in superficie, presenta una sensibilità molto maggiore di quella ottenibile con il martello di Schmidt dovuta non solo al fatto che la misura della riflettanza viene effettuata su superfici molto meno estese rispetto all'area di impatto

del pistone del martello di Schmidt, ma anche che il valore del rimbalzo del martello è condizionato dalla eventuale disconnessione di piccole porzioni di materiale nel volume all'intorno della superficie di impatto. Si può quindi trarre la conclusione che i valori medi delle misure ottenute con lo scanner laser sono ben correlabili con quelli ottenuti con il martello di Schmidt e pertanto l'impiego dello scanner laser ai fini del rilievo di dettaglio dello stato di alterazione di materiali lapidei posti in opera costituisce una valida alternativa alle misure dirette, costose, lente e soprattutto potenzialmente dannose, per le superfici rese vulnerabili dai processi di degrado. Questa tematica di ricerca merita quindi di essere approfondita con un'ulteriore sperimentazione su altri litotipi e in presenza di differenti fenomeni di alterazione come biodeterioramento o efflorescenze e subflorescenze saline.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Nocilla, *Rilievo della mesostruttura con tecniche laser-scanner 3D*, IARG, (2002) Napoli
- [2] I. H. Voyat, *Analisi del fenomeno di innesco di valanghe di roccia*, Tesi Dottorato di Ricerca in Ingegneria Geotecnica - XVII ciclo(2005).
- [3] N. Nocilla and G. Urcioli, *Stabilità dei pendii in roccia*. Hevelius Edizioni (1997).
- [4]F. Re and C. Scavia, "Determination of contact areas in rock joints by X-ray computer tomography", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, **36** (1999)
- [5]G. Grasselli, J. Wirth and P. Egger, "*Quantitative three-dimensional description of a rough surface and parameter evolution with shearing*", *Inter. J. of Rock Mechanics & Mining Sciences* **39** (2002)
- [6]G. Grasselli, "Shear Strength of Rock Joints Based on Quantified Surface Description" in *Rock Mech. Rock Engng*, **39(4)** (2006)
- [7]J.A. González, B.R. Rodríguez, González-Aguilera and T.M. Rivas-Brea, "Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical building", *Journal of Archaeological Science ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,**37(12)**: 3037-3047 (2010)
- [8]M.Franceschi, G. Teza, N. Preto, A.Pesci, A. Galgaro and S. Girardi " Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,**64 (6)**: 522-528 (2009)
- [9]S. Aversa, N. Nocilla, G. Urcioli- *Rilievi e analisi di ammassi a struttura orientata con la fotogrammetria terrestre*,Atti del G.N.C.S.I.G del C.N.R., (1997)